

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA LAVADORA DE PAPA PARA ZONA RURAL DE BOGOTÁ

ÁLVARO SEBASTIÁN GARZÓN ORJUELA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIVISIÓN DE INGENIERIAS

BOGOTÁ D. C.

ABRIL 2022

DISEÑO Y FABRICACIÓN UNA LAVADORA DE PAPA PARA ZONA RURAL DE BOGOTÁ

ÁLVARO SEBASTIÁN GARZÓN ORJUELA

**TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR PARA EL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

DIRECTOR:

JOHANNY FRANCHESCO NIÑO FONSECA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIVISIÓN DE INGENIERIAS

BOGOTÁ D. C.

ABRIL 2022

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a DIOS, por permitirme llegar a este punto el cual es una de las metas en mi vida, agradecer a mis padres por todo el esfuerzo moral y económico que me han brindado a lo largo de mi vida, a mi hermana que siempre ha sido de gran ayuda y apoyo en los aspectos más difíciles, a mis maestros que me aportaron un gran conocimiento tanto en el aspecto académico como en personal y a todas las personas que con un granito de arena me ayudaron a realizar este objetivo de vida.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	7
2. Planteamiento del problema	9
3. Objetivos:.....	10
3.1. Objetivo general	10
3.2. Objetivos específicos	10
4. Caracterización del mercado y sector	10
4.1 Caracterización de tipos de lavado de papa	10
4.2 Caracterización de zona geográfica	13
5. Ingeniería de detalle.....	15
5.1 Necesidades del cliente identificadas a partir de estudio de mercado.....	16
5.2 Caracterización de posibles diseños.....	22
5.3 Elección de lavadora a partir de análisis QFD- <i>Quality Funtion Deployment</i>	24
5.3.1 Herramienta de análisis QFD	24
5.3.2 aplicación de la metodología QFD	29
5.4 Ingeniería de detalle	33
6. Fabricación y validación	66
7. Diseño y costeo de modelo mejorado	70
8. Conclusiones	77
9. Bibliografía.....	78
10. Anexos.....	80

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de Bogotá localización de Usme.....	155
Figura 2. Esstudio de mercado - población encuestada	20
Figura 3. Estudio de mercado - porcentaje de importancia de los requerimientos	21
Figura 4. Diseño de máquina no. 1	22
Figura 5. Diseño de máquina no. 2	23
Figura 6. Diseño de máquina no. 3	24
Figura 7: Esquema de la matriz qfd.....	26
Figura 8. Metodología qfd lavadora 1.....	30
Figura 9. Metodología qfd lavadora 2.....	31
Figura 10. Metodología qfd lavadora 3.....	32
Figura 11. Proceso de diseño norton	33
Figura 12. Modelo carreta.....	34
Figura 13.Diseño estático.....	35
Figura 14. Análisis de la estructura.....	37
Figura 15. Cálculo del eje del sistema.....	399
Figura 16. Fuerza de corte.....	399
Figura 17. Fuerza de corte plano yz.....	40
Figura 18. Momento flector	40
Figura 19. Ángulo de flexión.....	41
Figura 20. Gráfico flexión	42
Figura 21. Diámetro ideal.....	43
Figura 22. Chumacera elegida	44
Figura 23. Inercia tambor	48
Figura 24. Momento de inercia	49
Figura 25. Momento de inercia tambor.....	50
Figura 26. Diagrama área del tambor	54
Figura 27. Diagrama altura	56

Figura 28. Diagrama ángulo medio	57
Figura 29. Simulación programa CAD	62
Figura 30. Simulación programa CAD	62
Figura 31. Área de soldadura.....	63
Figura 32.Cálculo de soldadura	64
Figura 33. Motor 6.5 hp usado en máquina	67
Figura 34 . Reductora 40:1 usado en máquina.....	67
Figura 35. Proceso de fabricación.....	68
Figura 36. Proceso de fabricación.....	68
Figura 37. Lavadora de papa construida	69
Figura 38. Cultivo de papa superior para validación de máquina	69
Figura 39. Cultivo de papa superior para validación de máquina	70

Índice de tablas

Tabla 1. Distancias análisis estático.....	36
Tabla 2. Distancias análisis de la estructura.....	38
Tabla 3. Análisis del Benchmarking.....	45
Tabla 4. Iteraciones altura.....	56
Tabla 5. Costos de diseño.....	73
Tabla 6. Costos de piezas estandarizadas.....	74
Tabla 7. Costos de piezas a fabricar	75
Tabla 8. Costos totales	76

1. Introducción

La industria de alimentos es una de las más grandes alrededor del mundo y además indispensable para toda la humanidad, los sistemas de producción en esta industria son de los más antiguos y quizá una de los que más desarrollo tecnológico ha generado, sin embargo, en muchos países emergentes, entre ellos Colombia aun hace falta optimizar y tecnificar procesos, especialmente en zonas rurales donde se concentra la mayor producción de la industria de alimentos.

La presente investigación se contextualiza en Colombia, específicamente en la Zona rural de Bogotá en la localidad de USME, en donde la producción agrícola cada vez demanda mayor maquinaria, mejor infraestructura, y dadas las condiciones económicas del mercado, la competencia, la globalización, e incluso la pandemia, actualmente se exige mayor calidad por parte del consumidor y mayor rendimiento por parte del productor.

Es así, que la presente investigación plantea una idea de tecnificación para el sector papero, bajo la premisa que la papa es un tubérculo de primera necesidad en la canasta familiar de la población Colombiana especialmente en regiones de clima frío y en este contexto surge una clara idea de estudio e investigación, en donde a partir de experiencia empírica, la formación como ingeniero y tradición familiar se plantea una propuesta de diseño y construcción de una *Lavadora de Papa* con el fin de optimizar el proceso de producción, minimizar los costos, y mejorar los precios a productores, realizando un lavado de bajo costo y de mayor escala en el mismo lugar de los cultivos y así generar un valor agregado y mantener la tierra en su lugar de origen.

Esta idea surge también ante la necesidad de la limpieza como una tarea indispensable por calidad y optimización de precio, teniendo en cuenta que entre los factores que determinan los precios se incluye la calidad, la presentación y el aspecto visual del producto (Mejía:2016). Incluso en la actualidad, en las grandes centrales de acopio ingresa la papa con residuos de tierra lo cual genera una pérdida de valor final en el precio del producto.

A su vez, la tecnificación planteada con la construcción de la lavadora de papa ayudará a incentivar el desarrollo tecnológico en la región, y generar mayor valor al productor; esto principalmente porque la tecnificación del campo es la vía que permite impulsar su productividad y hacer de este sector un ámbito más competitivo y rentable para los productores, más aún ante el incremento en la participación que tiene el sector agrícola en la economía, sector que represento el 24.4% de las exportaciones totales en el 2021 aumentando su participación cerca de cuatro puntos porcentuales dado que en el 2019 representaba solo el 20%. (Dane:2021)

Por lo anterior, el presente trabajo de grado describirá el proceso de diseño y construcción de una lavadora de papa de *libre acceso*¹ para la zona rural de Bogotá, todo este proceso garantizando cumplimiento de una serie de requerimientos y especificaciones obtenidas a partir de un estudio de campo realizado a productores de la región y con base en el análisis técnico realizado a partir de la herramienta QFD – Quality Function Development. Lo anterior hasta llegar a presentar la construcción real de la lavadora de papa (modelo).

¹ Con el termino *libre acceso*, se hace referencia a que se brindaran las herramientas necesarias a productores de la zona que deseen conocer o tener acceso al diseño, construcción e incluso uso hacer uso de la lavadora de papa.

Finalmente, a partir de la lavadora modelo construida en la presente investigación, se genera un diseño final evidenciando las mejoras necesarias para poder replicar este modelo a escala, garantizando calidad en funcionamiento y estructura.

2. Planteamiento del problema

La baja tecnificación en el lavado de papa en la zona rural de Bogotá- Usme ha implicado menor rentabilidad en la producción agrícola, dado que al no lavarse se reduce el precio de venta en hasta un 24%², o incluso, al lavarse manualmente se requiere mayor costo de mano de obra.

Es de vital importancia optimizar los procesos productivos para la población campesina de Bogotá, dado que la coyuntura actual ha impactado fuertemente en este sector y una propuesta de valor que incremente el precio y reduzca el costo resulta interesante para la producción papera (Finagro: 2021).

El esfuerzo por reducir los costos permite enfocar al productor en inversión y rediseño del modelo de negocios para ser más rentable, competitivo y productivo. Es así como la presente investigación pretende diseñar y construir una lavadora de papa en la zona rural de Bogotá- Usme lo que permita incrementar el precio de venta para productores que actualmente no realizan este proceso, o reducir costos para productores que actualmente realizan este proceso de manera manual con mayor uso de mano de obra.

² Porcentaje calculado del diferencial de precio por kilo entre la papa limpia y la papa sucia, precios abril 2021 (Caracol:2021)

3. Objetivos:

3.1. Objetivo general

Diseñar y fabricar una lavadora de papa (pastusa, R12 y criolla) para la zona rural de Bogotá de libre acceso.

3.2. Objetivos específicos

- Diseñar una lavadora para el lavado de papa (pastusa, R12 y criolla) en una zona rural de Bogotá.
- Construir una lavadora para el lavado de papa (pastusa, R12 y criolla) en una zona rural de Bogotá.
- Validar el funcionamiento de la máquina usándola en la finca el vergel ubicado en la localidad de Usme.

4. Caracterización del mercado y sector

4.1 Caracterización de tipos de lavado de papa

En Colombia se evidencia que la papa es un producto básico para la canasta familiar, siendo el tercer alimento más importante del mundo junto con el maíz y el trigo y el número uno de origen no cereal para la humanidad. A su vez, el cultivo de la papa constituye el eje fundamental de la economía del país, producida en 283 municipios a nivel nacional, en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Antioquia y Nariño se concentran más del 85% de la producción (Finagro: 2021).

Ahora bien, dentro de las tecnologías usadas en el lavado de la papa se tiene que artesanalmente los bultos de papa se lavan en una alberca para remover la tierra adherida, luego sacarlos, sacudirlos y volverlos a sumergir, repitiendo este proceso hasta remover casi en su totalidad la tierra, en algunas ocasiones para perfeccionar el lavado se utiliza manguera. Este proceso implica cambiar el agua cada vez que se sumerge el bulto, lo cual genera alto consumo de agua y vertimientos al alcantarillado con alto contenido de sólidos lo cual genera un proceso sumamente manual y en la mayoría costoso por el consumo excesivo de agua y la mano de obra demandada.

Por parte del lavado de papa industrial se utiliza una máquina que consta de un motor el cual tiene la capacidad de mover un piñón y cadena de distribución con el fin de hacer girar el tambor; existen muchas máquinas especializada para este lavado, todas ellas tienen en común las mismas operaciones solo que estas se pueden encontrar en diferente orden según lo considere el fabricante.

En el proceso industrial se tienen las siguientes operaciones:

- Lavadora de papa: Es uno de los equipos principales en la línea de procesamiento postcosecha de papa ya que este módulo suple la función de retirar en su totalidad la tierra que posee las papas, mediante el ingreso del producto a un tambor rotatorio el cual se encuentra sumergido un cuarto de su diámetro, dentro de un tanque el cual almacena agua; allí por medio de fricción y agua se realiza el proceso (INGEMAQ, 2015).
- Tren de cepillos: Este módulo cumple con dos funciones claves en el proceso, ya que se compone de cepillos en fibras de nylon, los cuales van girando y permiten que la papa que posee bastante tierra en sus ojos y que la lavadora no logra sacar, se retire por medio de ese modulo, sin embargo, más que esto como segunda función es realizar un pre secado a la papa (INGEMAQ, 2015).
- Secadora: El secado se realiza mediante una fuente de calor bien sea gas natural, propano o ACPM, el cual se inyecta a un intercambiador de calor, conectado directamente a un

ventilador centrífugo de 22^º que lo toma y lo impulsa al cuarto en donde se encuentra el producto alojado en las bandas transportadoras (INGEMAQ, 2015).

- Bandas de selección: En esta parte las papas van pasando por la banda y esta selecciona las papas por tamaños para así poder empacarlas finalmente (INGEMAQ, 2015).

Tipos de lavadoras actuales en Colombia

-Proveedor: Inagro: Máquina lavadora de papa y tubérculos, tipo industrial construida en acero inoxidable 304, procesa bultos de 50 kg. Ubicación: Funza Cundinamarca Cr 6 # 16-55. Las lavadoras de papa y tubérculos están diseñadas con el fin extraer la tierra, por medio de un sistema rotatorio el cual arroja el producto a una banda transportadora de salida. INGEMAQ BELLO S.A.S diseña y fabrica lavadoras de papa las cuales se puede encontrar de diferentes capacidades según la necesidad del cliente, desde 30 hasta 200 Bultos/h de papa.

-Proveedor: Ingemaq Bello S.A.S, ha pensado en las difíciles condiciones de energía en áreas rurales donde se cultiva la papa y ha diseñado lavadoras de papa portátiles a base de combustible diésel y/o gasolina. Marca: Ingemaq. Ciudad Bello. Capacidad: 30Bultos/hora. Motor: Diésel. Portátil.

-Proveedor: Hidacam Ingeniero s.a.s. Máquina para lavado industrial de papas. Fabricada en acero inoxidable AISI 304 y materiales aptos para el contacto directo con agua. No se usan recubrimiento de pintura en ninguna pieza. Diseño que permite fácil limpieza y poco mantenimiento general. Capacidades variables de acuerdo con la necesidad particular de producción.

Tipos de lavadoras actuales a nivel internacional

-Argentina: Ofrece equipos que cumplen con los más altos estándares de calidad, higiene, comodidad de uso y control de costos. En la variedad de equipos diseñados para la línea de proceso de papas encontrará diferentes aplicaciones para su línea. En esta línea de proceso encontrará las etapas de lavado, cepillado, descarte, inspección y embolsado de papas (Albion,2021).

México: Ofrece modelos recientes de máquinas lavadoras de Papa y Zanahoria con innovaciones en su diseño y fabricación, de acuerdo con los requerimientos del cliente (Solis,2021).

China: La máquina tiene una buena apariencia y funcionamiento cómodo, limpieza de gran volumen, alta eficiencia, el consumo de energía es pequeño, puede lavado continuo, su fácil manejo, larga vida de servicio, etc. Rodillo Cepillo de los materiales a través de un procesamiento especial durable, desgaste, resistiendo el rendimiento es bueno. Verificación cuerpo está compuesto de material de acero inoxidable de alta calidad, no se oxida, limpiar el saneamiento (Zibo,2021).

4.2 Caracterización de zona geográfica

La presente investigación y desarrollo se planteó para la localidad de Usme localidad que está ubicada al sur del Distrito Capital de Bogotá, limita al norte con las localidades San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Tunjuelito; al oriente, con los municipios de Chipaque y Une; al sur, con la localidad de Sumapaz, y al occidente, con la localidad Ciudad Bolívar, con el Río Tunjuelo de por medio y los municipios de Pasca y Soacha (Secretaria Distrital de Planeación, 2011).

La superficie total de Usme es de 21.506,7 hectáreas (ha), de estas 2.120,7 (ha) corresponden a suelo urbano, 902,1 se clasifican como suelo de expansión urbana y las restantes 18.483,9 ha constituyen suelo rural (Secretaría Distrital de Planeación, 2011, p. 10).

El suelo rural de la localidad de Usme está ubicado dentro de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá y la Reserva Forestal de la Cuenca Alta del Río Bogotá, clasificado dentro de la Estructura Ecológica Principal. Posee 16 veredas, de las cuales las de mayor extensión son Chisacá, La Unión, Los Arrayanes y Olarte. Las veredas de menor extensión son Centro Usme Rural I y II y la Requilina Rural II (Secretaría Distrital de Planeación, 2011).

En cuanto a su economía, la localidad de Usme se dedica al cultivo de maíz, a la producción de hortalizas y legumbres al aire libre, al cultivo de papa, zanahoria, alverja, haba, cebolla cabezona, cebolla y a la huerta casera. También se dedican a la producción de ganado y de especies menores.

En términos económicos, en la actualidad existe gran dificultad en la comercialización de los productos que obtiene de la producción agrícola y ganadera principalmente por la variación de los precios de insumos, la falta de oportunidad laboral y dificultad para acceder a créditos bancarios, por lo tanto, se está generando menor rentabilidad en la actividad agropecuaria en la zona. No obstante, el suelo rural de las localidades de Ciudad Bolívar y Usme es potencialmente rico y explotable para desarrollo de diferentes actividades económicas, lo cual genera potencia de estudio para mejoras productivas y tecnológicas.

En la Figura No. 1 se presenta el mapa de Bogotá por localidades con el fin de georreferenciar la localidad de Usme.

Figura 1. Mapa de Bogotá localización de Usme



Fuente: Figura tomada de Somos Cundinamarca 2020

5. Ingeniería de detalle

En el presente capítulo se va a desarrollar el diseño para la lavadora de papa de libre acceso para la zona rural de Bogotá- Usme. El capítulo se clasificará en tres apartados:

- Necesidades del cliente identificadas por encuesta: En este apartado se evidencia la necesidad del cliente a partir de un estudio de mercado soportado por encuestas y trabajo de campo realizado.
- Caracterización de posibles diseños: En este apartado se va a caracterizar tres posibles opciones de máquina lavadora de papa de acuerdo con diferentes características técnicas y valores diferenciadores según las necesidades del cliente identificadas en el apartado inmediatamente anterior.
- Elección de lavadora a partir de análisis QFD- *Quality Funtion Deployment*

5.1 Necesidades del cliente identificadas a partir de estudio de mercado

Análisis del cálculo muestral:

Para caracterizar las necesidades del cliente se realizó una encuesta a partir de una muestra representativa o muestra estadística significativa para calcular el tamaño de esta.

A continuación, se presenta la fórmula para calcular el tamaño de la muestra cuando se trabaja con datos cualitativos (categorías), y por tanto el valor que buscamos es una proporción (porcentaje).

$$n = \frac{N \cdot k^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{(N - 1) \cdot e^2 + k^2 \cdot p \cdot (1 - p)}$$

Fuente: (Saraí, 2005)

N= Tamaño de población = 647 personas

n = Tamaño de la muestra

k= Nivel de confianza =90%

p =proporción (se considera p=0,5)

e= error muestral =10%

Tamaño de la Población (N): La cantidad total de población para el presente estudio, corresponde a la población total de la vereda del Hato, Pasquilla y Pasquillita correspondiente a 647 personas, de acuerdo con información reportada por el Dane 2020.

Tamaño de la muestra (n): Valor de encuestados a definir, estadísticamente significativo.

Nivel de confianza (k): Nivel de precisión, referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable en estudio. Para la presente investigación se definió el 90%, (valor de z calculado bajo distribución normal 1,65).

Proporción (p): Para la proporción el criterio de máxima dispersión es que tenga igual proporción para cada posible valor, se consideró $p=0,5$.

Error muestral (e): Para la presente investigación se definió el 10%. Entre más pequeño sea el margen de error, más certeza que los resultados de la muestra respondan a la realidad poblacional bajo un determinado nivel de confianza.

A partir de lo anterior, el valor calculado de la muestra es de **62** encuestas. En la bibliografía se referencian fuentes de simulación de referencia.

Formulación de Encuestas:

Las 62 encuestas fueron aplicadas mediante Google Forms en los siguientes grupos de interés fundamentalmente:

- **Trabajador no Productor:** Definido como aquellos quienes no tiene propiedad de terrenos para el cultivo de papa, pero dedican su actividad principal a vender su mano de obra en el proceso de cultivo de esta.
- **Productor:** El productor es quien se dedica a sembrar, cultivar, y producir la tierra con el fin de generar la producción primaria del tubérculo. Dentro de la composición de la cadena de la papa, el grueso de las actividades de la cadena se realiza en el

eslabón primario por lo tanto el productor es el eje principal, las actividades industriales poco aportan a la dinámica del sector (Miinisterio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

- **Comerciante:** La actividad de ccomercialización en la cadena de producción de la papa le introduce nuevo valor mediante el transporte a los diferentes sitios de consumo y diferenciación del producto, dependiendo del segmento del mercado que atienda (Miinisterio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019)

A partir de los 3 grupos poblacionales descritos, se realizaron las 62 encuestas con el fin de caracterizar y definir las necesidades del cliente, entendiendo al cliente de esta investigación como un usuario relevante dentro de la cadena de producción del papa, sea trabajador no productor, productor / Comerciante, productor.

A continuación, a manera informativa se detallan las principales preguntas realizadas en la encuesta:

- Datos de registro
- ¿Qué papel tiene usted en la cadena de producción de la papa?
 - Trabajador no Productor
 - Productor / Comerciante
 - Productor
- ¿Es usted un agricultor de la zona rural de Bogotá?
- De las siguientes características, enumere en orden de prioridad ¿Cuál es la más o las más indispensable para usted en una lavadora de papa?

- Que sea móvil
 - Que permita lavar todas las variedades de papa
 - Que no demande de muchos operarios para su funcionamiento
 - Que sea de bajo costo
 - Que garantice niveles de seguridad
- ¿Qué otros requerimientos ven importantes para una lavadora de papa?
 - ¿Qué presupuesto sería el máximo que dispondría para la inversión de una lavadora?
 - ¿Cuál cree que es el rendimiento de lavado apropiado para una lavadora de bajo costo?
 - ¿Qué cantidad anual de papa cosecha en toneladas anualmente?
 - ¿Cree que al lavar la cosecha de sus cultivos estos incrementen el valor de venta por parte del agricultor?

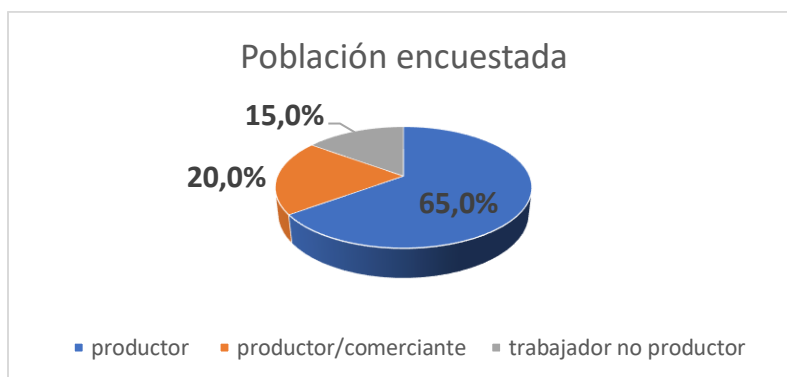
Se anexa link de acceso: [Lavadora de papa - Formularios de Google](#)

Las preguntas evaluadas tanto en el trabajo de campo (encuestas verbales) como en los resultados cuantificados llevan principalmente a los siguientes resultados:

La población encuestada se caracterizó en tres grandes grupos de interés como se observa en la Figura No 2, los tres grupos hacen parte del proceso de producción de papa por ende son resultados significativos para la presente investigación. Como se evidencia el 65% de la

población encuestada corresponde a exclusivamente productores, el 20% a productores y comerciantes y el 15% restante a trabajadores no productores.

Figura 2. Estudio de mercado - población encuestada



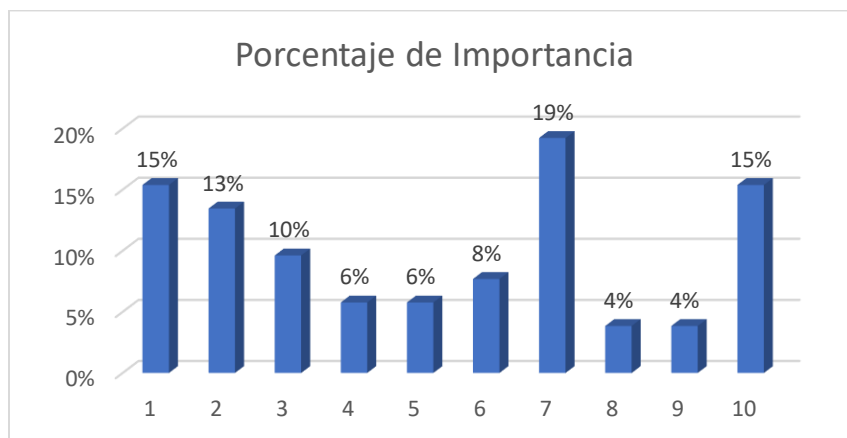
Fuente: Elaboración propia a partir de resultados encuesta

A su vez, la encuesta permitió concluir los 10 criterios de mayor importancia y el porcentaje de prioridad para la construcción de la lavadora a partir de la información suministrada por los encuestados. Dichas variables serán los “*Qués*” que se evaluarán más adelante. Los requerimientos son los siguientes:

- 1) Que sea de precio accesible
- 2) Que sea móvil
- 3) Que sea ligera
- 4) Que se puedan lavar varios tipos de papa
- 5) Que sea lo más ahorrativa posible (consumibles)
- 6) Que no necesite muchos operarios
- 7) Que se pueda usar en el lugar de cosecha
- 8) Que este avalada por una empresa conocida
- 9) Que sea de bonita estética
- 10) Que cumpla con medidas de seguridad industrial

En la Figura No 3 se presenta el porcentaje de importancia para cada uno de los requerimientos distribuyendo el 100% entre las 10 características principales. El requerimiento 7, 10, 1, 2 y 3, anteriormente descritos concentran el 72% de importancia.

Figura 3. Estudio de mercado - porcentaje de importancia de los requerimientos



Fuente: Elaboración propia a partir de resultados encuesta

A partir de los requerimientos anteriormente mencionados, a continuación, se proponen los “Cómo” entendidos como las características técnicas que debe cumplir la máquina lavadora de papa, el nivel de importancia de estos será analizado en el apartado siguiente.

- 1) Bajo costo de producción
- 2) Con un sistema móvil de arrastre
- 3) Construcción con materiales livianos
- 4) Multiusos (diferentes variedades y tipos de papa)
- 5) Menor uso de consumibles posible
- 6) Menor mano de obra posible para su ejecución
- 7) Diseño para trabajo en exteriores e intemperie
- 8) Contar con el aval de una empresa
- 9) Resistencia mecánica

10) Implementación de seguridad

5.2 Caracterización de posibles diseños

Frente a las necesidades anteriormente descritas a continuación se describen tres posibles diseños que pueden cumplir en diferentes proporciones las necesidades del cliente. Las tres opciones podrán variar en el cumplimiento de necesidades y diferentes características técnicas.

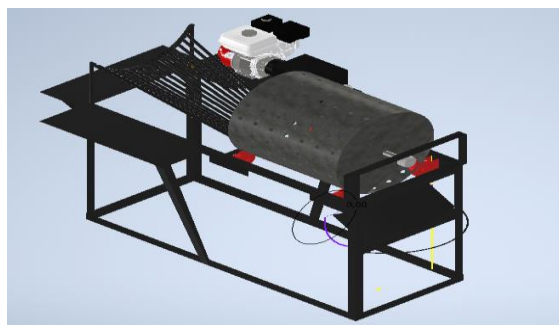
Se hará una descripción de las características para así elegir la que mejor se adapte y cumpla con la mayoría de los requerimientos solicitados por el cliente siempre buscando optimización de recursos de producción.

Las ilustraciones No 4, 5 y 6 son una imagen de referencia para visualizar las opciones 1,2 y 3 de los posibles diseños.

Opción 1

Esta consiste en una lavadora tipo carreta con el fin de ser transportada por medio de un tiro de arrastre, su fuente de energía será un motor a combustión, con el fin de ser móvil, su sistema de lavado se rige mediante una un cilindro giratorio al cual le ingresa agua por medio de aspersores, en este cilindro se ingresa la papa y por medio de rotación y golpeteo se va lavando el tubérculo, su capacidad será calculada a partir de la potencia del motor y el diámetro del cilindro.

Figura 4. Diseño de máquina No. 1



Fuente: Elaboración propia

Opción 2

Consiste en un lavadora tipo mesa la cual cuenta con un cilindro vertical, éste rota por medio de un motor eléctrico con ruedas en cada uno de sus apoyos para permitirle ser móvil, en este se encuentran una serie de cepillos los cuales con la rotación y la tina de agua del piso se espera la limpieza y baño de los tubérculos

Figura 5. Diseño de máquina No. 2



Fuente: Ingemaq 2017

Opción 3

Consiste en una lavadora tipo zaranda que por medio de vibración y rotación de cilindros con espumas se genera la limpieza del tubérculo, que igualmente van siendo bañados con aspersores para una limpieza húmeda, su medio de potencia se puede trabajar con dos motores eléctricos, y esta opción es más viable para uso estacionario.

Figura 6. Diseño de máquina No. 3



Fuente: Droma Ingenieria 2021

5.3 Elección de lavadora a partir de análisis QFD- *Quality Funtion Deployment*

5.3.1 Herramienta de análisis QFD

A continuación, se analiza el esquema *Quality Funtion Deployment en adelante QFD, en castellano refiere despliegue* de la Función Calidad, es una herramienta de planificación que desarrolla una sistemática para transmitir las características que deben tener los productos a lo largo de todo el proceso de desarrollo (Ruiz, 2009). El padre de esta metodología es Yoji Akao³ quien desarrollo esta metodología en Japón en los años 70. A partir de esta formulación original de la metodología, el QFD ha tomado muchas formas y versiones dada la necesidad de adaptarse a la cultura occidental, y además ante la necesidad de evolución.

QFD puede definirse como un sistema detallado para transformar las necesidades y deseos del cliente en requisitos de diseños de productos o servicios (Ruiz, 2009), la metodología QFD también se conoce popularmente “como la voz del cliente” por su filosofía de

³ Fue un especialista en planificación japonés reconocido como desarrollador de Hoshin Kanri. Con el fallecido Shigeru Mizuno, desarrolló Quality Function Deployment.

transmisión de requisitos y también como “la casa de la calidad” debido al aspecto de una de sus construcciones gráficas.

El objeto de usar la herramienta QFD es básicamente para:

- Identificar las necesidades y expectativas de los clientes, externos e internos.
- Priorizar y ponderar la satisfacción de estas expectativas en función de su importancia.
- Focalizar y maximizar todos los recursos, humanos y materiales, en pro de cumplir las expectativas del cliente.

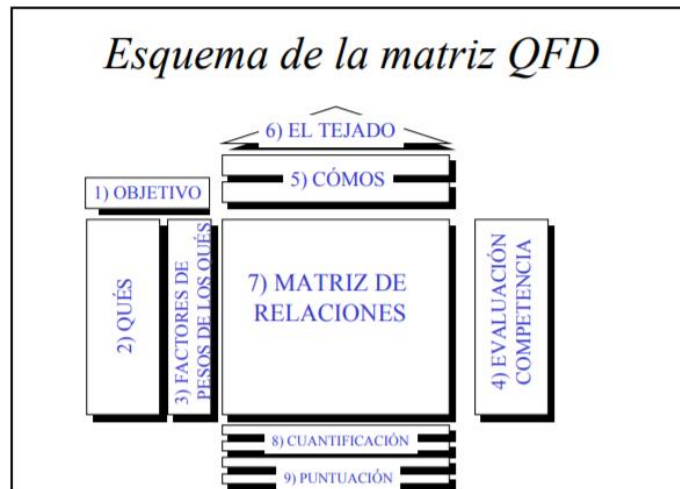
Una vez logrados los anteriores objetivos, se espera:

- Reducción del tiempo de desarrollo de la lavadora de papa.
- Optimización del producto o servicio para las expectativas del cliente objetivo anteriormente descrito.
- Enfocar los esfuerzos en el diseño de la lavadora de papa elegida a partir del análisis de esta herramienta (eficacia: hacer lo que hay que hacer).
- Lograr eficiencia: maximizar recursos y reducir costos.

Metodología QFD:

La metodología QFD consiste básicamente en transmitir lo qué desean los clientes vs cómo se puede satisfacer esa necesidad. La metodología de QFD se basa en la aplicación sucesiva de las matrices reflejadas en la Figura 7.

Figura 7: Esquema de la matriz QFD



Fuente: Ruiz, A. (abril de 2009). Despliegue de la función de calidad (QFD).

A continuación, se explican los 9 pasos de aplicación de la metodología QFD

Paso 1: fijación del objetivo.

En este paso es necesario fijar a qué se va a aplicar la metodología QFD mediante una definición clara y concreta, y que ésta sea entendida y compartida entre el diseñador y el cliente.

Para el caso de aplicación de la presente investigación el objetivo es: ¿Qué características debe reunir la lavadora de papas seleccionada para los agricultores de la zona rural de Bogotá?

Paso 2: establecimiento de la lista de expectativas a satisfacer, “qués”.

El siguiente paso consiste en definir la lista de las expectativas, es de decir de los “Qués” que ha de satisfacer el producto o servicio.

Los *Qués* bajo el análisis QFD para la presente investigación son los siguientes:

- 1) Que sea de precio accesible
- 2) Que sea móvil

- 3) Que sea ligera
- 4) Que se puedan lavar varios tipos de papa
- 5) Que sea lo más ahorrativa posible (consumibles)
- 6) Que no necesite muchos operarios
- 7) Que se pueda usar en el lugar de cosecha
- 8) Que este avalada por una empresa conocida
- 9) Que sea de bonita estética
- 10) Que cumpla con medidas de seguridad industrial

Paso 3: asignar coeficiente de peso a los “qués”.

Si bien todos los “Qués” son importantes se hará dos vectores de clasificación que serán ponderados:

Vector 1 es importancia de los “Qués” según cliente – peso de cada que

Vector 2 es grado de diferenciación del producto de los “Qués” dado por el diseñador quien hará la clasificación de 1 a 5 siendo 1 baja diferenciación para ese “que” y 5 alta diferenciación para ese “que”.

Paso 4: evaluación de los productos o servicios ofertados por la competencia.

En este paso se sugiere hacer una comparación con los productos ofertados en el mercado, para efectos de esta investigación no se hará análisis de competencia con las ofertas del mercado, pero si se realizara un análisis comparativo de 3 diferentes opciones de máquina con diferente grado de diferenciación.

Paso 5: establecimiento de “cómos” con los que se pueden satisfacer los “qués” fijados anteriormente.

En este paso es necesario fijar “como” se va a aplicar la metodología QFD mediante una definición clara y concreta.

Para el caso de aplicación de la presente investigación los “como” son las características técnicas de diseño definidas a partir de las necesidades del “que”. Los “como” definidos son los siguientes:

- 1) Bajo costo de producción
- 2) Con un sistema móvil de arrastre
- 3) Construcción con materiales livianos
- 4) Multiusos (diferentes variedades y tipos de papa)
- 5) Menor consumo de agua posible
- 6) Menor mano de obra posible para su ejecución
- 7) Diseño para trabajo en exteriores e intemperie
- 8) Contar con el aval de una empresa
- 9) Resistencia mecánica
- 10) Cumpla con seguridad industrial

Paso 6: análisis de los “cómos”.

En este paso se estudia si existe alguna correlación entre los “Cómos” con los siguientes iconos se hará la correlación

-  Fuerte correlacion positiva
-  Correlacion positiva
-  Correlacion negativa
-  Fuerte Correlacion negativa

Paso 7: establecimiento de la matriz de relaciones entre “qués” y “cómos”.

En este paso se trata de valorar la influencia que tienen los distintos “Qués” en la obtención de los distintos “Cómos”. Para ello se adopta una escala de 1-3-9 que indica el grado de correlación de los “ques” y los “como” siendo 1 baja correlación y 9 alta correlación.

Paso 8: cuantificar objetivos de los “cómos”

En este paso se espera lograr la cuantificación de los valores objetivos de los “Cómos”, es decir llegar a cuantificar según su grado de cumplimiento.

Paso 9: puntuación final y análisis

Como se han explicado en los pasos anteriores no todos los “Qués” tienen la misma importancia y además cada “Cómo” contribuye en la consecución de un “Qué” a través del coeficiente de la matriz de relaciones.

Así podemos valorar el resultado de cada “como”. Se hará dos vectores de clasificación que serán ponderados:

Vector 1 es importancia de los “Qués” según cliente – peso de cada que

Vector 2 es grado de cumplimiento de los cómo según el coeficiente de correlación calculado en el paso 6.

5.3.2 aplicación de la metodología QFD

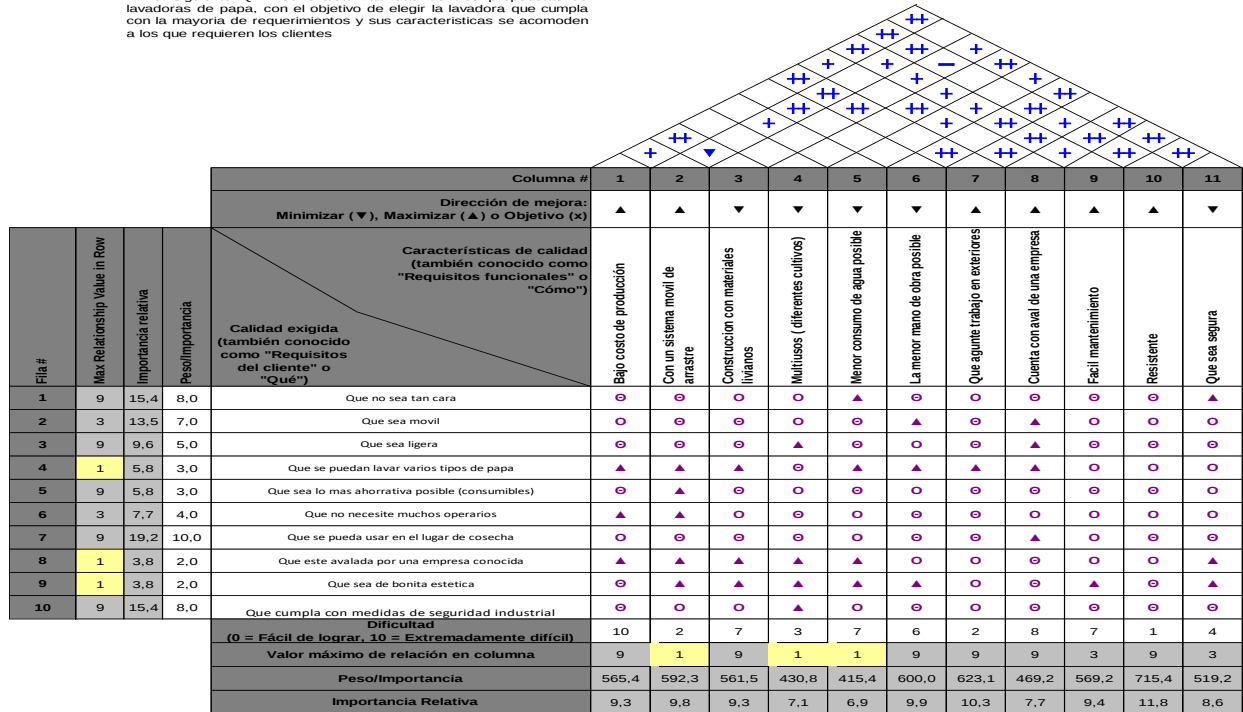
A continuación, se relaciona la aplicación de los pasos anteriormente descritos para tres distintas lavadoras de papa y con base en los resultados se define la máquina a diseñar.

Opción 1 Lavadora

Figura 8. Metodología QFD lavadora 1

Aplicación de metodología QFD para la opción de lavadora No 1

Title: Propuestas lavadoras de papa
Author: Alvaro Sebastian Garzon O
Date: Abril/20/2021
Notes: En el siguiente QFD se evalua viabilidad de tres propuestas de lavadoras de papa, con el objetivo de elegir la lavadora que cumpla con la mayoría de requerimientos y sus características se acomoden a los que requieren los clientes



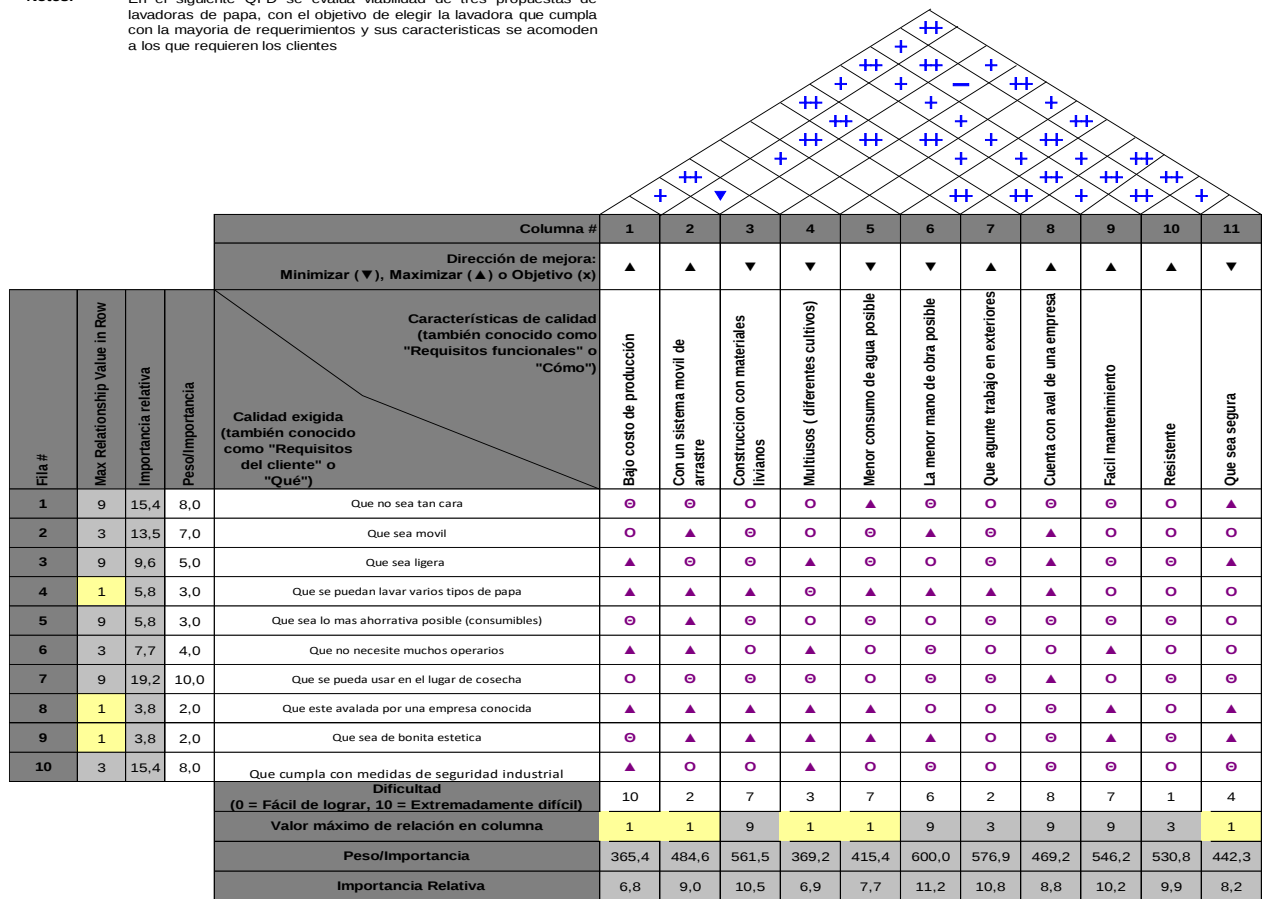
Fuente: Elaboración Propia

Opción 2 Lavadora

Figura 9. Metodología QFD lavadora 2

Aplicación de metodología QFD para la opción de lavadora No 2

Title: Propuestas lavadoras de papa
Author: Alvaro Sebastian Garzon O
Date: Abril/20/2021
Notes: En el siguiente QFD se evalua viabilidad de tres propuestas de lavadoras de papa, con el objetivo de elegir la lavadora que cumpla con la mayoría de requerimientos y sus características se acomodan a los que requieren los clientes



Fuente: Elaboración Propia

Opción 3 Lavadora

Figura 10. Metodología QFD lavadora 3

Aplicación de metodología QFD para la opción de lavadora No 3

Title: Propuestas lavadoras de papa
Author: Alvaro Sebastian Garzon O
Date: Abril/20/2021
Notes: En el siguiente QFD se evalua viabilidad de tres propuestas de lavadoras de papa, con el objetivo de elegir la lavadora que cumpla con la mayoría de requerimientos y sus características se acomoden a los que requieren los clientes

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Elaboración Propia

A partir de la descripción y el análisis obtenido del QFD se elige para construcción la opción número 1 ya que genero un mayor puntaje de cumplimiento con los requerimientos y especificaciones dadas, con esta decisión se procede a iniciar la ingeniería de detalle y cálculos, para posteriormente, llegar al proceso de construcción.

5.4 Ingeniería de detalle

El diseño de la máquina parte del principio de optimización de costos y con lineamientos óptimos de calidad, con el objeto de ser una herramienta de fácil acceso en la cadena de producción y comercialización de la papa.

Para la ingeniería de detalle el análisis se basa en los numerales 8 y 9 tales como se observan en la Figura No 11, planteada en el proceso de diseño Norton R. (2018).

Figura 11. Proceso de diseño Norton

Tabla A-1 El proceso de diseño	
1	Identificación de la necesidad
2	Investigación preliminar
3	Planteamiento de la meta
4	Especificaciones de funcionamiento
5	Síntesis
6	Análisis
7	Selección de la solución
8	Diseño detallado
9	Prototipos y pruebas
10	Producción

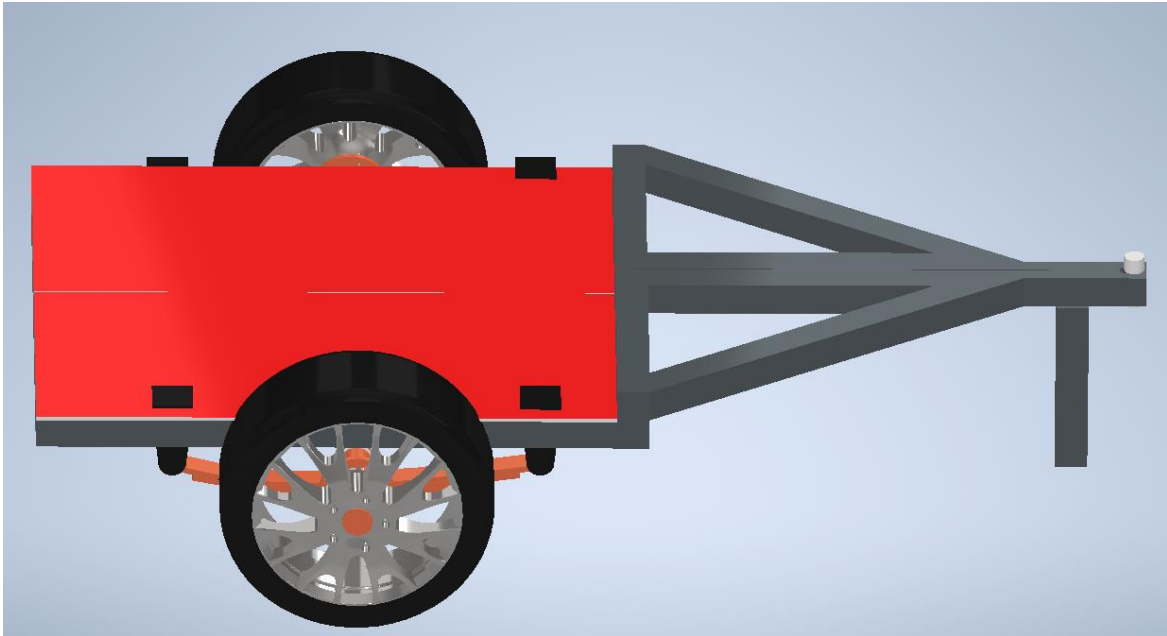
Fuente: Diseño de máquinas Norton R. (2018)

Se da inicio con un cálculo estático a la estructura, la cual para este proyecto ya se tiene, se involucran las fuerzas más relevantes y se desprecian las de menor magnitud ya que no generan una reacción significativa.

Para el diseño y construcción de la máquina lavadora ya se cuenta con una carreta artesanal la cual es la base estructural de la máquina, esta carreta es funcional y diseñada para trabajos en finca.

A continuación, en la Figura No 12 se presenta un diseño de una carreta similar a la que se pretende usar para el transporte y movilidad de la máquina. Importante se aclara que la presente no hace parte del diseño fundamental de la máquina, pero es una herramienta de uso externo para movilidad.

Figura 12. Modelo carreta



Fuente: Elaboración propia a partir del software CAD 2020

Análisis Estático

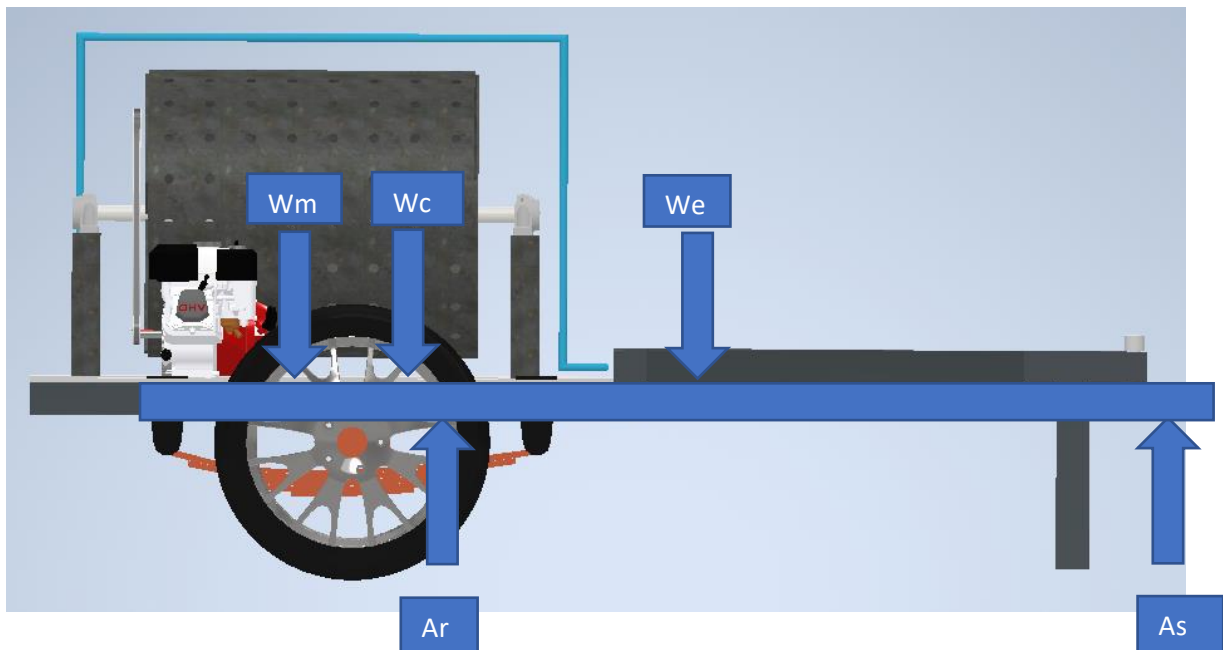
Análisis eje x-y: Para el análisis de la estructura se asume una viga con dos apoyos y tres cargas tal como se observa en la siguiente imagen.

Apoyos: Ruedas y soporte

Cargas: Peso motor, peso cilindro lavador con carga y peso de la estructura

En la Figura No 13 se evidencia las cargas que soporta la lavadora para su respectivo análisis estático.

Figura 13. Diseño estático



Fuente: Elaboración propia a partir del software CAD 2020

Convenciones: A continuación, se describen las convenciones usadas en el siguiente capítulo

Wm= Peso motor

Wc= Peso cilindro

We= Peso estructura

Ar= Apoyo rueda

As= Apoyo soporte

En la siguiente tabla se observan las distancias desde el punto cero.

Tabla 1. Distancias análisis estático

Largo Total	2750	mm
X Wm	400	mm
X Wc	650	mm
X We	1350	mm
X Ar	830	mm
X As	2550	mm

X: Hace referencia a la distancia desde el punto 0 que es el origen donde se tomaron las medidas.

Fuente: Elaboración propia

A partir de lo anterior se inician los análisis estáticos y se detallan los cálculos realizados

$$(1) \varepsilon f_x = 0$$

$$(2) \varepsilon f_y = 0$$

$$(3) \varepsilon f_x = -W_m - W_c - W_e + A_r + A_s = 0$$

$$(4) \varepsilon M_x = -W_m * 400 - W_c * 650 - W_e * 1350 + A_r * 830 + A_s * 2550 = 0$$

Despejando

$$(5) A_s = \frac{W_m * 400 + W_c * 650 + W_e * 1350 - A_r * 830}{2250}$$

$$(6) A_s = W_m + W_c + W_e - A_r$$

Despejando

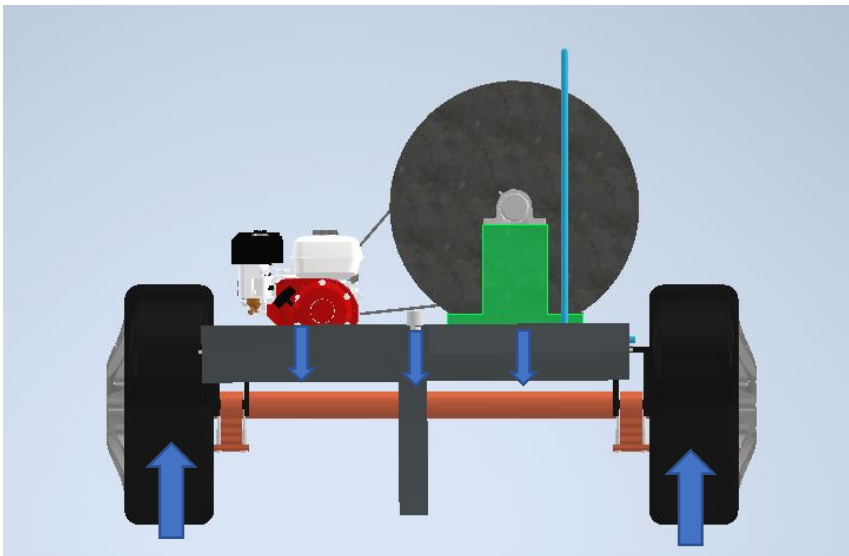
$$(7) \quad A_s = -\frac{11}{142}wm - \frac{9}{71}wc + \frac{26}{71}we$$

$$(8) \quad A_r = \frac{153}{142}wm + \frac{80}{71}wc + \frac{45}{71}we$$

Análisis eje y-z

Para el análisis de la estructura se asume una viga con dos apoyos y tres cargas tal como se observa en la Figura No 14.

Figura 14. Análisis de la estructura



Fuente: Elaboración propia a partir del software CAD 2020.

Convenciones: A continuación, se describen las convenciones usadas en el siguiente capítulo

W_m = Peso motor

W_c = Peso cilindro

W_e = Peso estructura

A_{r1} = Apoyo rueda 1

Ar2= Apoyo rueda 2

En la siguiente tabla se observan las distancias desde el punto cero.

Tabla 2. Distancias análisis de la estructura

Largo Total	1200	mm
X Wm	500	mm
X Wc	600	mm
X We	800	mm
X Ar1	0	mm
X Ar2	1200	mm

$$(9) \quad \varepsilon f_z = 0$$

$$(10) \quad \varepsilon f_z = Ar1 + Ar2 - m - We - Wc$$

$$(11) \quad \varepsilon M_x = -Wm * 500 - Wc * 800 - We * 600 + Ar2 * 1200 = 0$$

$$(12) \quad Ar2 = \frac{Wm * 500 + Wc * 800 + We * 600}{1200} = 0$$

$$(13) \quad Ar1 = Wc + We + Wm - \frac{5}{12} - \frac{1}{2}We - \frac{3}{4}Wm$$

$$(14) \quad Ar1 = \frac{7}{12}Wc + \frac{1}{2}We + \frac{1}{4}Wm$$

A partir de los anteriores cálculos se deja expresado el valor de los apoyos en termino de las cargas

Cálculo del eje del sistema

Para el cálculo de este eje se utilizó un programa CAD al cual se le proporcionaron todos los datos necesarios para poder obtener el diámetro.

A continuación en las ilustraciones No 15,16,17,18,19,20 y 21, se detallan los resultados numéricos y gráficos obtenidos:

Figura 15. Cálculo del eje del sistema

Material

Material	Acero
Módulo de elasticidad E	206000 MPa
Módulo de rigidez G	80000 MPa
Densidad	ρ 7860 kg/m ³

Propiedades del cálculo

Incluir	
Sí Densidad	ρ 7860 kg/m ³
Sí Coeficiente de desplazamiento cortante β	1,188 su
Número de divisiones	1000 su
Modo de tensión reducida	HMH

Cargas

Índice	Ubicación	Fuerza radial		Momento flector		Carga continua				Fuerza axial	Par de torsión	Flexión				Ángulo de flexión
		Y	X	Tamaño	Dirección	Y	X	Tamaño	Dirección	Longitud		Y	X	Tamaño	Dirección	
1	123 mm															
	955 mm							1,200 N/mm		1,200 N/mm	832,000 mm			-354,905 μ m	354,905 μ m	180,00 gr
														-354,913 μ m	354,913 μ m	180,00 gr

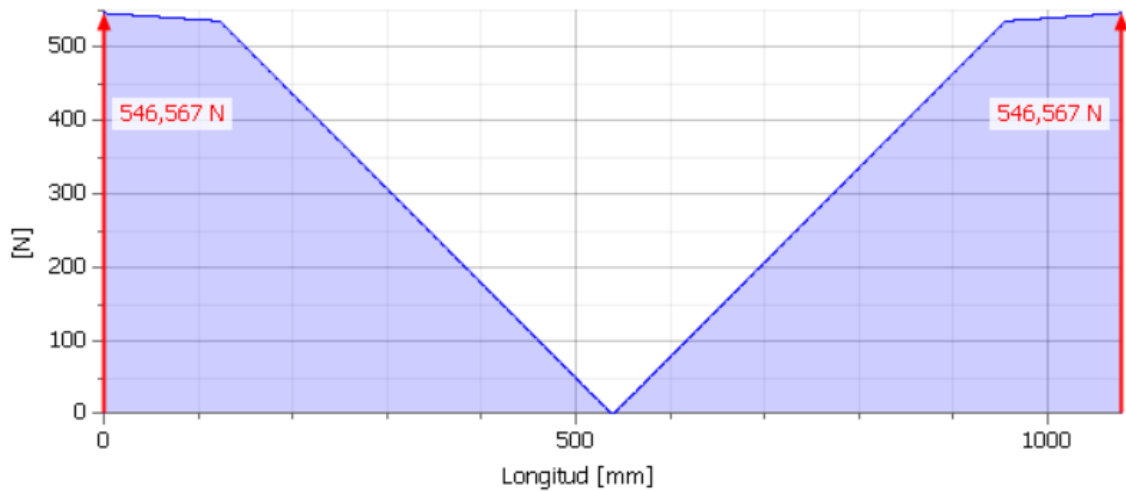
Soportes

Índice	Tipo	Ubicación	Fuerza de reacción			Elasticidad	Tipo	Flexión				Ángulo de flexión
			Y	X	Tamaño			Y	X	Tamaño	Dirección	
1	Fijo	0 mm	546,567 N	546,567 N			Usuario					0,17 gr
2	Libre	1078 mm	546,567 N	546,567 N			Usuario	-0,008 μ m	0,008 μ m	180,00 gr		0,17 gr

Fuente: Elaboración propia software CAD

Figura 16. Fuerza de corte

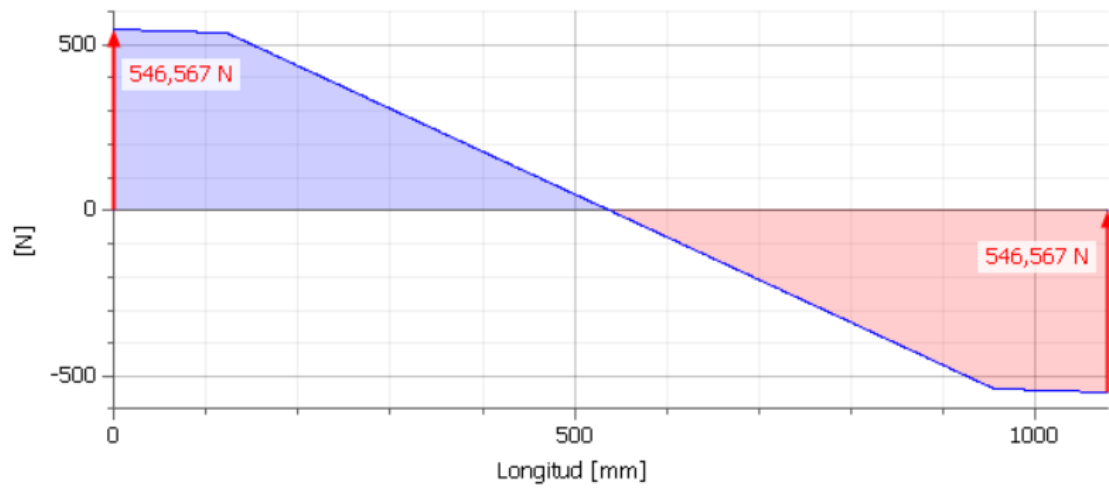
Fuerza de corte



Fuente: Elaboración propia software CAD

Figura 17. Fuerza de corte plano YZ

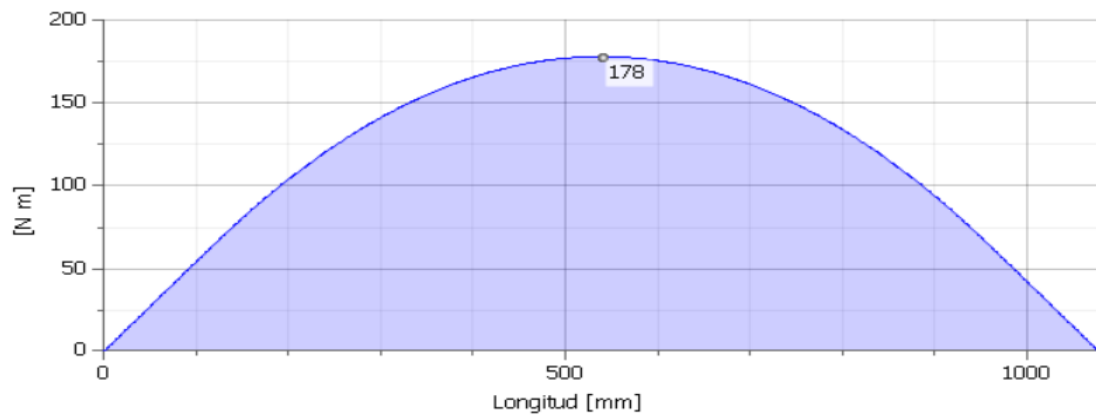
☐ **Fuerza de corte, Plano YZ**



Fuente: Elaboración propia software CAD

Figura 18. Momento flector

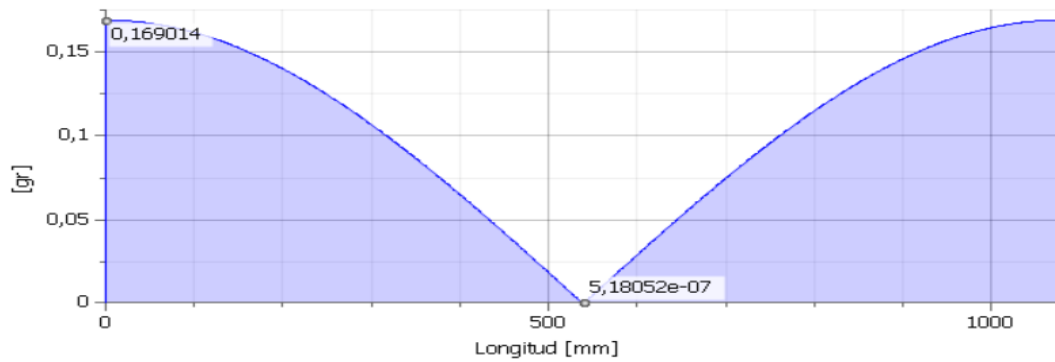
☐ **Momento flector**



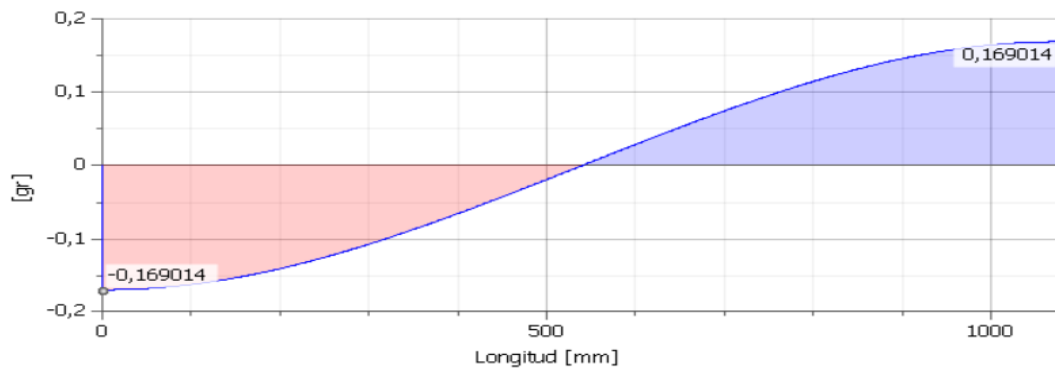
Fuente: Elaboración propia software CAD

Figura 19. Ángulo de flexión

☐ Ángulo de flexión



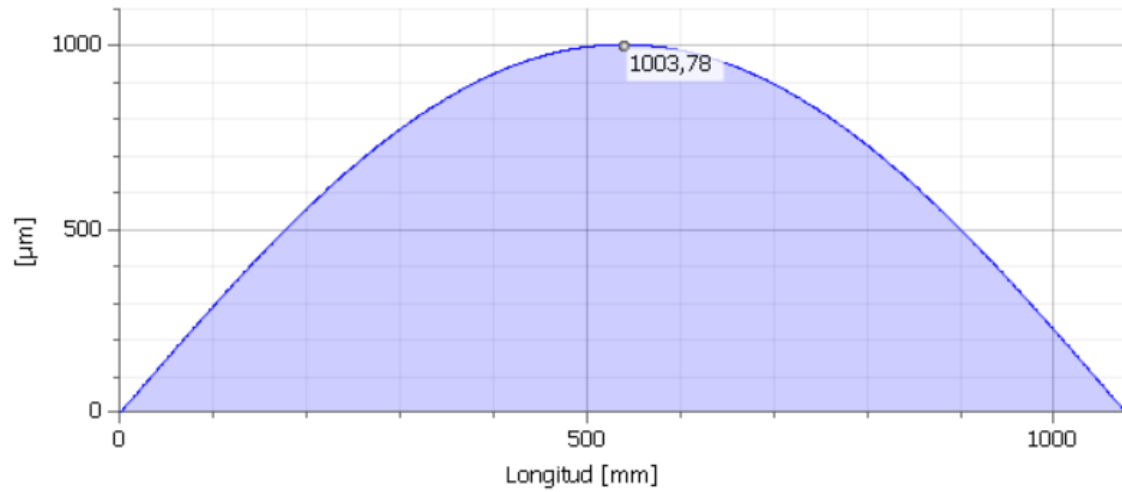
☐ Ángulo de flexión, Plano YZ



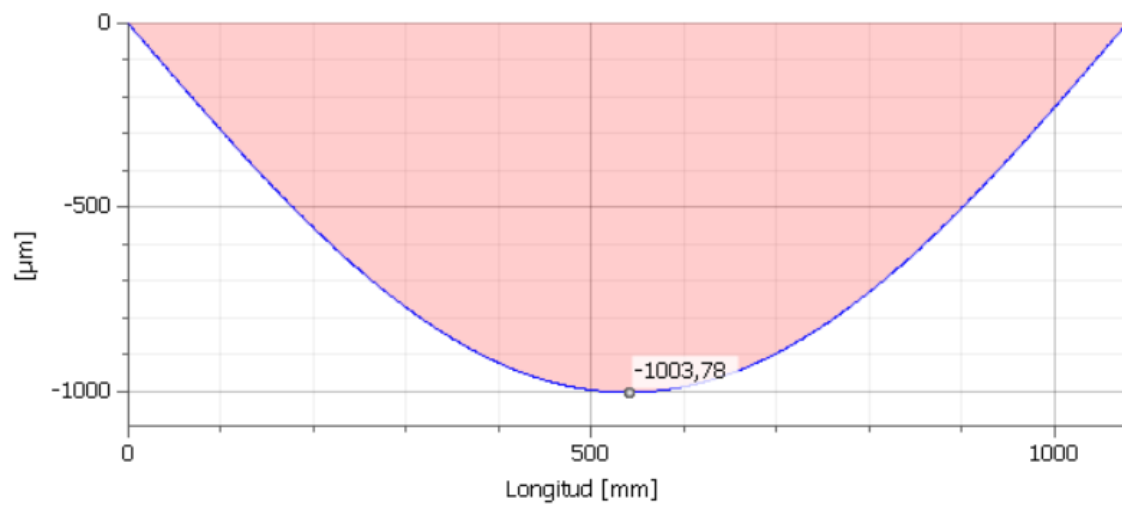
Fuente: Elaboración propia software CAD

Figura 20. Gráfico flexión

Flexión



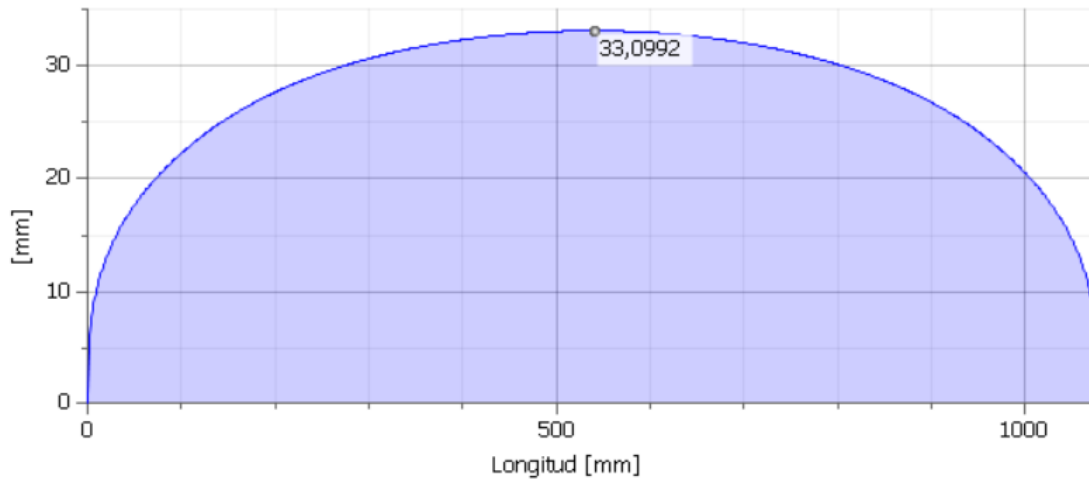
Flexión, Plano YZ



Fuente: Elaboración propia software CAD 2020

Figura 21. Diámetro ideal

▣ Diámetro ideal



Fuente: Elaboración propia software CAD 2020

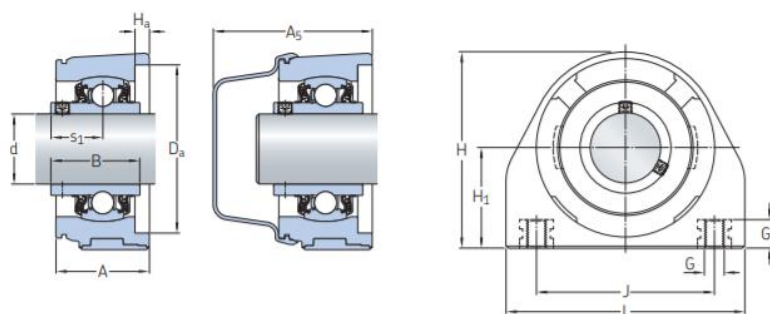
A partir del anterior análisis se determina que el diámetro elegido es de 38.1 mm 1" y ½" una medida comercial.

Elección De Chumaceras

Para la elección de las chumaceras se tuvo en cuenta el diámetro del eje y la carga radial a soportar, así mismo las revoluciones por minuto (rpm) a las cuales gira el eje que mantiene el cilindro.

En la Figura No 22 se observa el catálogo de chumaceras SKF a elegir.

Figura 22. Chumacera elegida



P2BTC (soporte de material compuesto)

Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidad límite con tolerancia de eje h6	Masa	Designaciones	Tapa lateral asociada
d	H ₁	J	C	C ₀	P _u	r. p. m.	lb/kg	Unidad de rodamientos	
pulg./mm			lb/kN		lb/kN			–	
1 3/8 34,925	1.874	3,25	4 860	3 440	147	3 200	1,45	P2BTC 106-TPSS	ECB 507
	47,6	82,5	21,6	15,3	0,655		0,66		
	1.874	3,25	5 730	3 440	147	3 200	1,5	P2BTC 106-TPZM	ECB 507
	47,6	82,5	25,5	15,3	0,655		0,67		
	1.874	3,25	4 860	3 440	147	3 200	3,2	P2BTSS 106-YTPSS	ECW 207
	47,6	82,6	21,6	15,3	0,655		1,45		
1 7/16 36,513	1.874	3,25	4 860	3 440	147	3 200	1,4	P2BTC 107-TPSS	ECB 507
	47,6	82,5	21,6	15,3	0,655		0,63		
	1.874	3,25	5 730	3 440	147	3 200	1,5	P2BTC 107-TPZM	ECB 507
	47,6	82,5	25,5	15,3	0,655		0,67		
	1.874	3,25	4 860	3 440	147	3 200	3,2	P2BTSS 107-YTPSS	ECW 207
	47,6	82,6	21,6	15,3	0,655		1,45		
1 1/2 38,1	1.937	3,5	5 550	4 270	180	2 800	1,95	P2BTC 108-TPSS	ECB 508
	49,2	89	24,7	19	0,8		0,89		
	1.937	3,5	6 900	4 270	180	2 800	1,95	P2BTC 108-TPZM	ECB 508

Fuente: Catalogo SKF Chumacera de bolas

A continuación, se presentan las dimensiones definidas por el autor para el cilindro con el fin determinar la capacidad de carga y así calcular el espesor necesario.

A considerar:

- Diámetro y volumen definidos
- Diámetro 635 mm – Largo 705 mm
- Se calcula es el grosor

- Densidad de la papa $610 \frac{Kg}{m^3}$

Elección para velocidad de giro (Benchmarking)

El benchmarking definido como una herramienta técnica, es utilizada para comparar sistemas o sus componentes. Para efectos de la presente investigación, el *benchmarking* se usará como herramienta para evaluar la velocidad de giro del tambor en el cual se produce el lavado del tubérculo, con el objetivo de estimar la precisión en la velocidad y poder comparar los resultados con máquinas similares y definir los rpm de giro idóneas para la lavadora de papa.

Las características que se muestran a continuación están dadas bajo validación técnica de tres distintas lavadoras, de acuerdo a consulta web realizada en marzo de 2022 por el autor.

Análisis del Benchmarking

Tabla 3. Análisis del Benchmarking

Característica/Marca	Lavadora Marca Inagro Modelo 1	Hidacam Ingenieros SAS	Lavadora Marca Inagro Modelo 2
Velocidad de giro	40-50 rpm	50-70 rpm	50-70 rpm
Potencia del Motor	Fuente eléctrica 3 hp 1800 rpm	Fuente eléctrica 1,5 hp 1800 rpm	Fuente diésel 6,7 hp 1800 rpm
Capacidad de lavado	1 tonelada / hora	600 kilos /hora	3 toneladas / hora
Tipo de Lavado	Por rotación	Por rotación	Por rotación

Fuente: Elaboración propia a partir de información Inagro/Hidacam sitio web.

Teniendo en cuenta los anteriores tres modelos referenciados, sirviendo como estándares ya definidos en el mercado, se precisó que la velocidad de giro para la lavadora a diseñar esta entre 50-70 rpm, tomando como valor puntual 60 rpm.

Las características de potencia del motor, capacidad de lavado, tipo de lavado, solo se nombran a manera de referencia para caracterizar los componentes de otras posibles lavadoras, pero el fin del benchmarking de la presente investigación radica en análisis puntual para definir únicamente velocidad de giro.

Cálculo del espesor

$$(15) \quad t = \frac{P}{SE - 0.6P} + C$$

De acuerdo a la ecuación encontrada en la página 40 del manual de recipientes a presión de la UNAM.

Donde:

(S) Esfuerzo a la fluencia del material $-\frac{N}{m^2}$

(E) Eficiencia de la soldadura – Adimensional = 0.7

(P) Presión ejercida por la papa $-\frac{N}{m^2}$

(C) Factor de seguridad por corrosión – m = 0.001 m

(t) Espesor mínimo del tambor – m

$$(16) \quad t = \frac{1100 \frac{N}{m^2}}{460 * 10^6 \frac{N}{m^2} * 0.7 - 0.6 * 1100 \frac{N}{m^2}} + 0.001$$

$$t = 0.0010034 \text{ m}$$

Se tomó el valor de referencia para el valor de la fluencia de un acero inoxidable AISI 304 dadas las características de trabajo en el sector alimenticio, adicionalmente se manejó un valor de eficiencia en la soldadura de 0.7 para soldadura de condiciones normales no atípicas en soldadura longitudinal.

Teniendo en cuenta el espesor mínimo del tambor se trabajó con un valor comercial de 1.52mm (Calibre 16) que supera el valor mínimo en un amplio porcentaje.

Cálculo del reductor para transmisión a 50 – 70 rpm

Premisas para cálculo de transmisión: Teniendo en cuenta que los rpm del motor oscilan en un rango de 2500 a 3600 rpm se debe hacer uso de una caja reductora (40:1) para minimizar la velocidad del tambor. Cabe resaltar que esta transmisión se hace por medio del sistema cadena y piñón, se aclara que estos elementos definidos tienen una capacidad de resistencia superior a la requerida, no obstante, cumplen con la función necesaria siendo una pieza estándar a nivel comercial y no siendo una pieza a fabricar.

Tiempo de Estabilización del tambor

$$(17) \quad t = 3s$$

Se establece un tiempo en el que el tambor inicia a girar a las revoluciones establecidas hasta alcanzar una velocidad continua de 60 rpm.

A continuación, se presentan los cálculos

Aceleración Angular

$$(18) \quad \alpha = \frac{N}{t}$$

Donde:

$$(\alpha) \text{ Aceleracion angular} - \frac{\text{rad}}{s^2}$$

(N) Velocidad de giro – rpm – $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$

(t) Tiempo estabilización del tambor – s

$$(19) \quad \alpha = \frac{60 * 2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \left(\frac{1}{60}\right)}{3 \text{ s}} = 2.09 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

Por lo anterior la aceleración angular del tambor obtenida con una velocidad de 60 rpm es de $2.09 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$

Cálculo momento de inercia de la papa en el tambor

Haciendo uso del módulo de un programa CAD se calcula el momento de inercia respecto al eje de rotación de la papa asumiendo que se ubicara de manera uniforme a lo largo del tambor y dado de que la fuerza rotacional es mayor al peso de la papa. Se puede llegar a la conclusión que la papa dentro del tambor se mantendrá de manera uniforme.

A continuación, en la Figura No 23 se observa la simulación realizada en un programa CAD.

Figura 23. Inercia tambor



Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.		
Lxx = 2279705559.69	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 1327564071.82	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 3173458414.48

Fuente: Elaboración propia simulación software CAD

Conversión Inercia

$$(20) \quad I_{xx} = 2279705559.69 \text{ gr} * \text{mm}^2 * \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} \right) * \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 = 2.27 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Momento de inercia eje: Haciendo uso del módulo de diseño de un programa CAD se calcula el momento de inercia del eje respecto al eje de rotación

A continuación, en la Figura No 24 se observa la simulación realizada en un software CAD

Figura 24. Momento de inercia



Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)		
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.		
lxx = 501275069.99	lxy = 571014646.30	lxz = 93565739.05
lyx = 571014646.30	lyy = 1005231766.42	lyz = 61448854.73
lzx = 93565739.05	lzy = 61448854.73	lzz = 1248505690.84

Haciendo uso del módulo de un software CAD se calcula el momento de inercia del eje respecto al eje de rotación

Conversión inercia eje

$$(21) \quad I_{xx} = 501275069.99 \text{ gr} * \text{mm}^2 * \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} \right) * \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 = 0.50 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Momento de inercia tambor

Haciendo uso del módulo de diseño de un software CAD se calcula el momento de inercia del tambor respecto al eje de rotación.

A continuación, en la Figura No 24 se observa la simulación realizada en software CAD.

Figura 25. Momento de inercia tambor



Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)
 Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas de resultados.

Lxx = 6089288920.74	Lxy = 1057.01	Lxz = -141025.29
Lyx = 1057.01	Lyx = 6014998817.80	Lyz = 11.71
Lzx = -141025.29	Lzy = 11.71	Lzz = 3826211191.45

Conversión inercia eje

$$(22) \quad I_{xx} = 6089288920.70. \text{gr} * \text{mm}^2 * \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} \right) * \left(\frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 = 6.08 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Momento angular del tambor

A continuación, se calcula el momento angular del tambor con el fin de poder calcular la potencia requerida

$$(23) \quad M = \alpha * I_{xx}$$

Donde:

(M) Momento angular – N * m

(α) Acceleracion angular – $\frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$

(I_{xx}) Momento de inercia papa – Kg * m²

$$(24) \quad M = 2.09 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} * (2.27 \text{ kg} * \text{m}^2 + 6.08 \text{ kg} * \text{m}^2 + 29.16 \text{ kg} * \text{m}^2 + 0.5 \text{ kg} * \text{m}^2) = 79.44 \text{ Nm}$$

Potencia del diseño

$$(25) \quad \text{Pot} = N * M$$

Donde:

(M) Momento angular – N * m

(N) Velocidad de giro – rpm – $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$

(Pot) Potencia requerida – Watt

$$(26) \quad Pot = 60 * \frac{2\pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{60 \text{ seg}} * 79.44 \text{ Nm} = 499.14 \text{ Watt}$$

$$(27) \quad Pot = 499.14 \text{ Watt} \frac{1 \text{ HP}}{760 \text{ watt}} = 0.65 \text{ HP}$$

Potencia real

$$(28) \quad P = Pot \left(\frac{c}{e} \right)$$

Donde:

(C) Factor de correccion de potencia

(e) Eficiencia del motor reductor

(Pot) Potencia de diseño – HP

(P) Potencia real – HP

$$(29) \quad P = 0.65 \text{ HP} \left(\frac{1.3}{80\%} \right) = 1.05 \text{ HP}$$

Se concluye que por perdidas mecánicas y de la moto reductora la potencia requerida es de 1.5 HP.

Cálculo de las cargas y esfuerzos adicionales - Cálculo del volumen del tambor

$$(30) \quad V = \pi r^2 l$$

Donde:

(r) Radio del tambor – mm

(l) Longitud del tambor – mm

(V) Volumen del tambor – mm³

$$(31) \quad V = \pi \left(\frac{635 \text{ mm}}{2} \right)^2 (705 \text{ mm}) = 2.233 * 10^8 \text{ mm}^3 = 0.2233 \text{ m}^3$$

Cálculo del volumen ocupado por la papa

Para este cálculo se tiene en cuenta la capacidad de carga definida previamente para estimar los cálculos siguientes. Esta carga corresponde a un valor de 50 kg equivalente a un bulto en la jerga del sector

$$(32) \quad V = \frac{m}{\rho}$$

Donde:

(m) masa de papa – kg

(ρ) Densidad de la papa – $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

(V) Volumen ocupado por la papa – m³

$$(33) \quad V = \frac{50 \text{ kg}}{610 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.082 \text{ m}^3$$

A partir de este cálculo se define que la razón de uso del volumen del tambor corresponderá

$$a \frac{0.082}{0.223} * 100\% = 36.77\%$$

Cálculo del área soportada

Se estima la distribución de la papa en el tambor a partir del volumen calculado, para ello se define el área del sector circular y se multiplica por la longitud y de esta manera se determina la altura a la que se encontrara la papa y el valor de S que soportar el peso de la papa.

A continuación, en la Figura No 26 se observa el esquema de distribución de la papa dentro del cilindro

Donde:

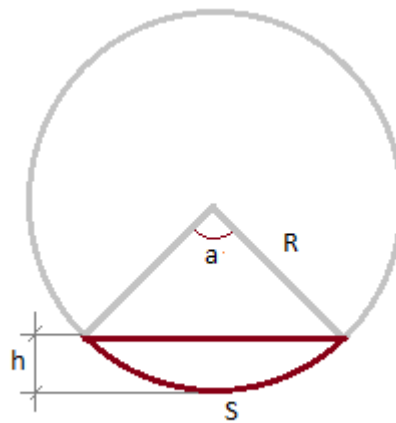
(a) Ángulo maximo de contacto – Rad

(R) Radio – m

(h) Altura papa – m

(S) Longitud de curva tambor – m

Figura 26. Diagrama área del tambor



Fuente: Elaboración propia

$$(34) \quad V = l * A$$

Donde:

(l) Largo del tambor – m

(A) Area transversal – m^2

(V) Volumen ocupado por la papa – m^3

$$(35) \quad A = \frac{V}{l} = \frac{0.082 \text{ m}^3}{0.705 \text{ m}} = 0.116 \text{ m}^2$$

Mediante métodos numéricos se varía el valor de h con el fin de encontrar el valor que permita obtener un área transversal de 0.116 m^2 para ello se calculan infinitesimales rectángulos donde la altura está dada cada 0.001 m y el ancho está dado por la función del radio con base a la altura alcanzada

i iteracion

$h_i = h_{i-1} + 0.001$ Altura en la iteración i desde el suelo

$r_i = \sqrt{0.3175^2 - (0.3175 - h_i)^2}$ Radio en la iteración i , dada la altura en esa iteración

$A_i = A_{i-1} + 2r_i * 0.001$ Área acumulada en iteración i , data la altura en esa iteración

Donde

$$A_0 = 0$$

$$r_0 = 0$$

$$h_0 = 0$$

En la Tabla No 3 se detalla la 251 iteración las cuales fueron necesarias para poder hallar el radio, que alcanza el área identificada previamente.

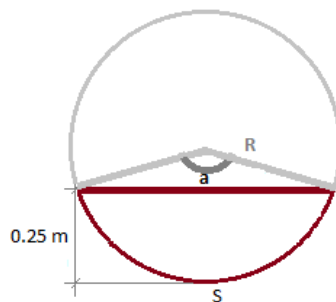
Tabla 4. Iteraciones altura

i	h_i	r_i	A_i
238	0,237	0,3071254	0,1080784
239	0,238	0,3073858	0,1086931
240	0,239	0,3076427	0,1093084
241	0,24	0,3078961	0,1099242
242	0,241	0,3081461	0,1105405
243	0,242	0,3083926	0,1111573
244	0,243	0,3086357	0,1117746
245	0,244	0,3088754	0,1123923
246	0,245	0,3091116	0,1130105
247	0,246	0,3093445	0,1136292
248	0,247	0,3095739	0,1142484
249	0,248	0,3097999	0,114868
250	0,249	0,3100226	0,115488
251	0,25	0,3102418	0,1161085

Fuente: Elaboración propia

Finalmente se logra un área de 0.116 m^2 luego de 251 iteraciones para un valor de h aproximado de 0.25 m, con este valor de h se procede a calcular la superficie que soporta la papa.

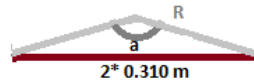
Figura 27. Diagrama altura



Fuente: Elaboración propia

En la Figura No se procede a calcular el valor del ángulo medio a partir del valor obtenido de r de la altura de la papa.

Figura 28. Diagrama ángulo medio



Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura No 32 se hace uso de la trigonometría, y se descompone la componente adyacente de un triángulo rectángulo con un valor de ángulo interior medio.

$$(36) \quad \frac{a}{2} = \sin^{-1} \frac{0.310}{R} = \sin^{-1} \frac{0.310}{0.3175} = 1.35 \text{ rad}$$

Ángulo del sector circular

$$(37) \quad a = 2 * 1.35 = 2.70 \text{ rad}$$

A partir del ángulo calculado se estima la longitud de la curvatura S

$$(38) \quad S = \theta * R$$

$$(39) \quad S = 2.70 \text{ rad} * 0.3175 \text{ m} = 0.85 \text{ m}$$

Valor del área soportada

$$(40) \quad A_{\text{soportada}} = S * l$$

$$(41) \quad A_{\text{soportada}} = 0.85 \text{ m} * 0.705 \text{ m} = 0.57 \text{ m}^2$$

En conclusión, el área soportada por el tambor es de 0.57 m^2

Cálculo presión ejercida de la masa de la papa sobre el tambor

$$(42) \quad P = \frac{m * g}{A_s}$$

Donde:

(P) Presion ejercida por la papa $-\frac{N}{m^2}$

(m) Peso de la papa $-\text{Kg}$

(A_s) Area soportada $-\text{m}^2$

(g) Acceleracion de la gravedad $-\frac{m}{s^2}$

$$(43) \quad P = \frac{50\text{kg} \cdot 9.8 \frac{m}{s^2}}{0.57 \text{ m}^2} = 859 \frac{N}{m^2}$$

En conclusión, la presión ejercida es de $859 \frac{N}{m^2}$

Cálculo de la fuerza centrífuga

El cálculo de la fuerza centrífuga se estima con la máquina en movimiento con una velocidad aproximada de 60 rpm.

$$(44) \quad F = m * N^2 * R$$

Donde:

(F) Fuerza centrífuga $-\text{N}$

(m) Peso de la papa $-\text{Kg}$

(N) Velocidad de giro $-\text{rpm} - \frac{\text{rad}}{s}$

(R) Radio del tambor $-\text{m}$

$$(45) \quad F = 50\text{kg} * \left(60\text{rpm} * \frac{2\pi}{60 s}\right)^2 * 0.3175\text{m} = 626.71 \text{ N}$$

Cálculo de la presión de la lámina en movimiento

$$(46) \quad P = \frac{F}{A_s}$$

Donde:

(P) Presion ejercida por la papa $-\frac{N}{m^2}$

(F) Fuerza centrifuga $- N$

(A_s) Area soportada $- m^2$

$$(47) \quad P = \frac{626.71 \text{ N}}{0.57 \text{ m}^2} = 1100 \frac{N}{m^2}$$

La presión en la pared del tambor es mayor en movimiento que en estado estático por lo tanto los cálculos se realizaran con base en la presión ejercida en la pared del tambor, cuando este se encuentra en movimiento.

Cálculo esfuerzo circunferencial

$$(48) \quad \sigma_c = \frac{P \cdot \theta}{2 \cdot t}$$

Donde:

(σ_c) Esfuerzo circunferencial $-\frac{N}{m^2}$

(P) Presion ejercida por la papa $-\frac{N}{m^2}$

(θ) Diametro $- m$

(t) Espesor $- m$

$$(49) \quad \sigma_C = \frac{1100 \frac{N}{m^2} * 0.635 \text{ m}}{2 * 0.0025 \text{ m}} = 139700 \frac{N}{m^2}$$

Po lo anterior se obtiene que el esfuerzo circunferencial es de $139700 \frac{N}{m^2}$

Cálculo esfuerzo normal

$$(50) \quad \sigma_N = \frac{P * \theta}{4 * t}$$

Donde:

(σ_N) Esfuerzo normal – $\frac{N}{m^2}$

(P) Presion ejercida por la papa – $\frac{N}{m^2}$

(θ) Diametro – m

(t) Espesor – m

$$(51) \quad \sigma_N = \frac{1100 \frac{N}{m^2} * 0.635 \text{ m}}{4 * 0.0025 \text{ m}} = 69850 \frac{N}{m^2}$$

Cálculo factor de seguridad

$$(52) \quad F_s = \frac{S}{\text{Max} \{ \sigma_C, \sigma_N \}}$$

Donde:

(σ_N) Esfuerzo normal – $\frac{N}{m^2}$

(σ_C) Esfuerzo circunferencial – $\frac{N}{m^2}$

(S) Esfuerzo a la fluencia del material $-\frac{N}{m^2}$

(F_s) Factor de seguridad

$$(53) \quad F_s = \frac{460 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}}{\text{Max} \left\{ 139700 \frac{N}{m^2}, 69850 \frac{N}{m^2} \right\}}$$

$$(54) \quad F_s = \frac{460 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}}{139700 \frac{N}{m^2}} = 3292.72$$

Se puede concluir que el tambor de la máquina tiene un factor de seguridad de 3292 el cual es un valor suficiente.

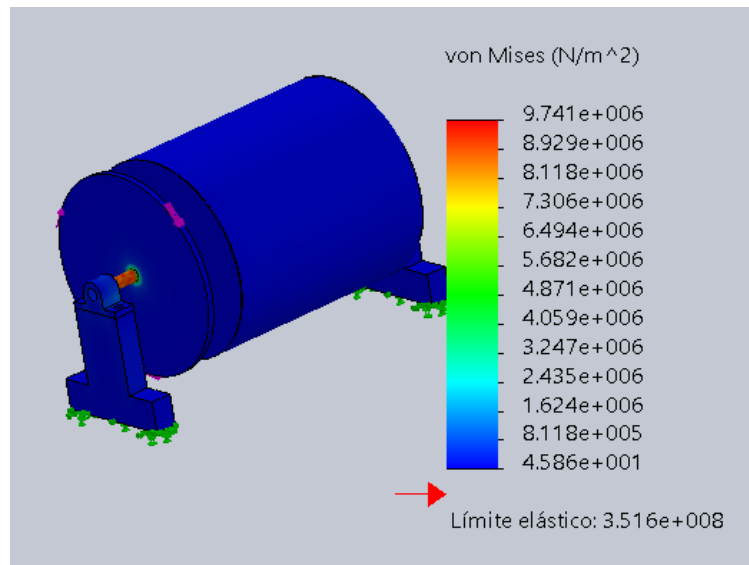
Cálculo soldaduras

A continuación, se detallan los cálculos de las soldaduras requeridas para la máquina, para esto se utilizó el módulo de simulación de soldadura de un software CAD para calcular esfuerzos y cargas dinámicas

Parámetros requeridos para la estimación: Carga papa, Velocidad de giro

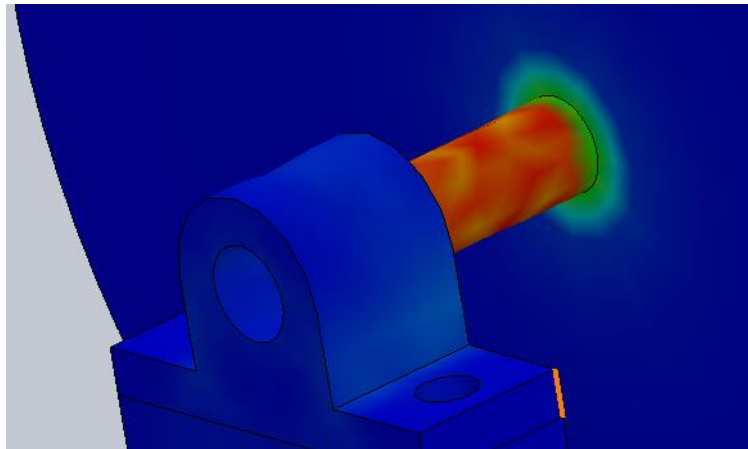
En las ilustraciones No 29,30,31 y 32 se evidencia la simulación y el cálculo de la soldadura del punto más crítico que resulto ser la unión entre el eje y el tambor.

Figura 29. Simulación software CAD



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de simulación del programa CAD

Figura 30. Simulación software CAD



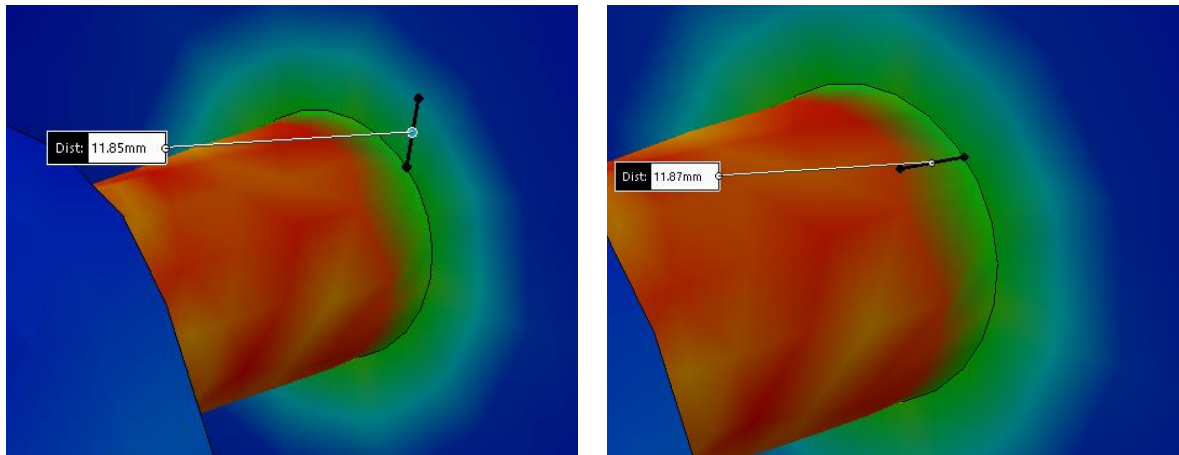
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de simulación del programa CAD

Dada la simulación en programa CAD se determinan los puntos críticos de las uniones y se define que el esfuerzo soportado por las uniones oscila entre $45.86 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ y $9.74 * 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

para efecto del total de las soldaduras, se calcularan los parámetros de soldadura considerando el máximo esfuerzo soportado por la unión.

Se calcula el área de propagación del esfuerzo con el fin de determinar la carga soportada en esta unión, y de esta manera definir el valor mínimo del cordón de soldadura.

Figura 31. Área de soldadura



Fuente: Elaboración propia a partir del modelo de simulación del programa CAD

$$(55) \quad A_s = \pi((40.10mm + D_r)^2 - (40.10mm)^2) + 2\pi(40.10mm) * (D_h)$$

Donde:

(A_s) Area de propagacion del esfuerzo – m^2

(D_r) Distancia radial – mm

(D_h) Distancia en altura – mm

$$(56) \quad A_s = \pi((40.10mm + 11.85mm)^2 - (40.10mm)^2) + 2\pi(40.10mm) * (11.87 mm)$$

$$(57) \quad A_s = 0.006418 m^2$$

Carga soportada por la unión

$$(58) \quad F_s = \sigma_{max} * A_s$$

Donde:

(F_s) Carga soportada por la union – N

(σ_{max}) Esfuerzo maximo – $\frac{N}{m^2}$

(A_s) Area de propagacion del esfuerzo – m^2

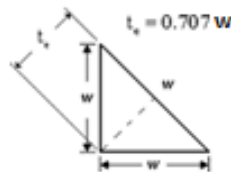
$$(59) \quad F_s = 9.74 * 10^6 \frac{N}{m^2} * 0.006418 m^2 = 62511 N$$

En conclusión, la carga mínima a soportar por la unión soldada es de 62511 N

Cálculo parámetros de soldadura

Se manejará el cordón de soldadura como un triángulo rectángulo por lo que aplicando geometría se puede estimar el valor de la garganta de soldadura t_e y haciendo uso del área efectiva de la soldadura que corresponde al área del plano de la garganta de soldadura alrededor del punto crítico de unión que corresponde a una circunferencia.

Figura 32.Cálculo de Soldadura



$$(60) \quad t_e = 0.707w$$

$$(61) \quad A_e = 2\pi r * t_e$$

$$(62) \quad \sigma_e \geq \frac{F_s}{A_e}$$

Donde:

(F_s) Carga soportada por la union – N

(σ_e) Esfuerzo maximo para una soldadura E70XX – $\frac{4920 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$

(A_e) Area efectiva de soldadura – m^2

$$(63) \quad A_e \geq \frac{62511N}{\sigma_e}$$

$$(64) \quad A_e \geq \frac{62511N * \left(\frac{1 \text{ kg}}{9.8 \text{ N}}\right)}{4920 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$(65) \quad A_e \geq 1.29 \text{ cm}^2$$

$$(66) \quad 2\pi r(0.707w) \geq 1.29 \text{ cm}^2$$

$$(67) \quad w \geq \frac{1.29 \text{ cm}^2 \left(\frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}}\right)^2}{4.44 (40.10 \text{ mm})}$$

$$(68) \quad w \geq 0.75 \text{ mm}$$

El valor mínimo de las dimensiones del triángulo rectángulo que corresponde al cordón de soldadura es de 0.75 mm este valor se considera teniendo en cuenta que la soldadura es continua en caso de manejar soldadura por puntos el valor deberá ser mayor.

Lo anterior de acuerdo con la ecuación encontrada en la página 40 del manual de recipientes a presión Universidad Nacional 2018.

6. Fabricación y validación

Para la fabricación de la lavadora se utilizaron recursos propios y con partes de costo relativamente bajo, pero funcionales, la mano de obra fue en mayor parte propia, solo un 20% fue tercerizada. La lavadora fue construida en la finca el vergel, zona rural de Bogotá D.C donde actualmente se encuentran en procesos de cosecha y lavado donde se efectuaron las respectivas pruebas de funcionamiento.

La fabricación se realizó bajo los planos anexos, cumpliendo con los parámetros establecidos en estos mismos. A continuación, se ilustran evidencias de la construcción de la lavadora de papa con el siguiente orden:

Figura No 33: Motor 6.5 Hp a gasolina marca Force siendo la fuente de poder de la lavadora

Figura No 34: Reductora 40:1 utilizada para la reducción de velocidad del tambor principal

Figura No 35: Evidencia visual del proceso de construcción en la bodega Finca el vergel

Figura No 36: Evidencia visual del proceso de construcción en la bodega Finca el vergel

Figura No 37: Producto terminado previo a prueba de funcionamiento

Figura No 38: Cultivo finca el vergel donde se pondrá puesta a marcha al funcionamiento de la lavadora

Figura No 34: Cosecha ya lista ara empezar el proceso de lavado en la lavadora

Figura 33. Motor 6.5 hp usado en máquina



Fuente: Foto tomada mes de noviembre. Elaboración propia

Figura 34 . Reductora 40:1 usado en máquina



Fuente: Foto tomada mes de noviembre. Elaboración propia

Figura 35. Proceso de fabricación



Fuente: Foto tomada mes de noviembre. Elaboración propia

Figura 36. Proceso de fabricación



Fuente: Foto tomada mes de noviembre. Elaboración propia

Figura 37. Lavadora de papa construida



Fuente: Foto tomada mes de noviembre. Elaboración propia

Figura 38. Cultivo de papa superior para validación de máquina



Fuente: Foto tomada mes de noviembre. Elaboración propia

Figura 39. Cultivo de papa superior para validación de máquina



Fuente: Foto tomada mes de noviembre. Elaboración propia

Validación

En el siguiente video se puede apreciar la validación del funcionamiento de la lavadora.

Link video: <https://www.youtube.com/watch?v=ri58wGzxzbc>

7. Diseño y costeo de modelo mejorado

Este apartado se enfoca en plasmar un nuevo diseño a partir de la lavadora de papa previamente diseñada y construida explicada en los apartados anteriores.

Se aclara que este nuevo diseño surge ante la necesidad de implementar algunas mejoras identificadas en el diseño y construcción anterior.

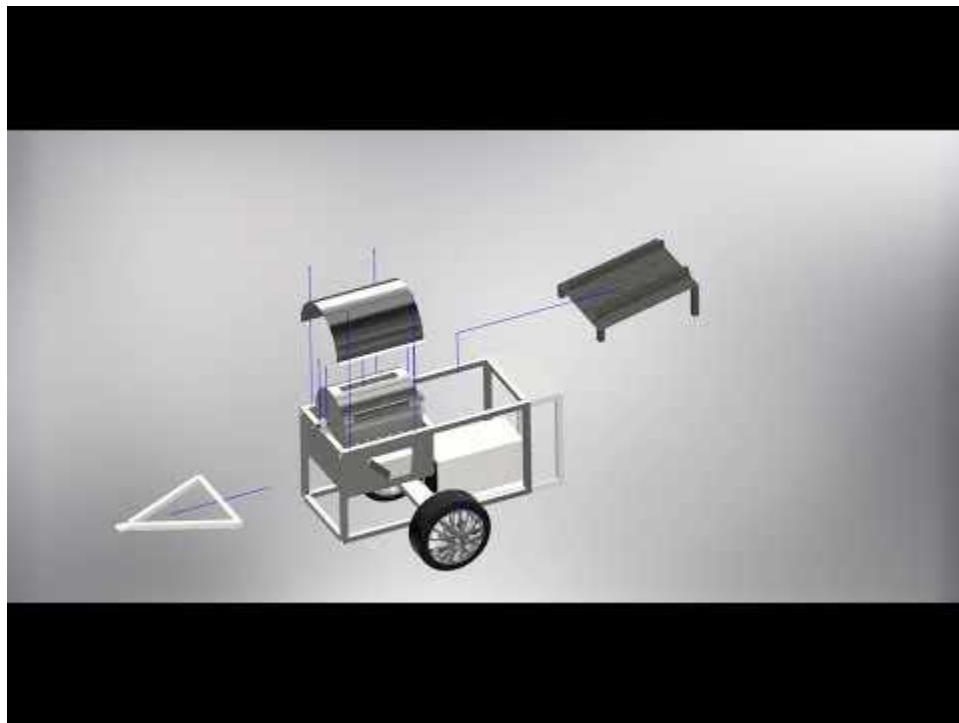
Las mejoras para tener en cuenta son las siguientes:

- Reducción en nivel de vibración que garantice mayor estabilidad.

- Mejor posicionamiento del centro de gravedad.
- Mejoras de movilidad, permitiendo que la lavadora no dependa de un remolque externo.
- Diseño de tanque de almacenamiento de agua, para reúso del agua o destinación para otros fines.
- Prolongar la vida útil de la lavadora a partir de mayor calidad de materiales.

A partir de dichas mejoras, se propone un nuevo diseño, que incluye las características de funcionamiento del primer diseño y las mejoras identificadas anteriormente.

En el siguiente video se observa el nuevo diseño, elaborado en un software CAD:



Se anexan planos.

Características de mejora del nuevo diseño:

- Los niveles de vibración se reducen dado que el motor se ubico en la parte inferior central de la máquina, garantizando mayor estabilidad y generando una mejor posición al centro de gravedad.
- A su vez, se implementó un tiro de arrastre con sistema móvil, eliminando la necesidad de uso de un remolque externo.
- Por otra parte, el nuevo diseño cuenta con tanque receptor de agua dejando a disposición del usuario el uso del agua reciclada para nuevos fines.
- Referente a la prolongación de la vida útil de la lavadora, se incluyo protector de carcasa para el motor, protector de carcasa para el tambor de lavado y se hace uso de materiales de mayor calidad.

Análisis de costos

El nuevo diseño de la lavadora de papa, requirió de la estimación de los costos de diseño y costos de fabricación. Para un mejor análisis se tendrán en cuenta costos de diseño, piezas estandarizadas y piezas a fabricar.

Los precios que se muestran a continuación están dados por cotizaciones realizadas en el mes de marzo del año de 2022 en sitios de venta web y en puntos físicos ubicados en la ciudad de Bogotá. Los precios pueden variar dependiendo de los materiales y proveedores y se aclara que la vigencia de las cotizaciones es no mayor a tres meses.

Costos de Diseño

Teniendo en cuenta el tiempo, trabajo y el *know how* para el diseño, en la siguiente tabla se muestran los costos y, además insumos y herramientas necesarias para realizar este proceso.

Tabla 5. Costos de diseño

Costo de Diseño			
Artículo	Precio	Cantidad	Total
Computadora (Tiempo de uso)	\$ 560.000	1	\$ 560.000
Software	\$ 200.000	1	\$ 200.000
Hora dibujante	\$ 12.000	100	\$ 1.200.000
Hora diseñador	\$ 12.000	100	\$ 1.200.000
Total			\$ 3.160.000

Costos de piezas estandarizadas

Corresponde a piezas o elementos comercialmente estándar que se muestran en la tabla 6, bajo precios y cotizaciones referenciados. Dichos costos son obtenidos de empresas de venta de productos online de nivel nacional e internacional. Se detallan hipervínculos como sugerencia de donde comprar.

Tabla 6. Costos de piezas estandarizadas

Piezas por comprar (estándar)					
Artículo	Precio	Cantidad	Descripción	Total	Sugerencia de compra
Motor a combustión 6.5Hp	\$ 840.400	1	Motor a combustión 196 cc	\$ 840.400	https://azequipos.co/motor-a-gasolina-65hp-eje-de-cuna-1800-rpm-forte.html
Reductora 40:1	\$ 1.541.000	1	Reductora 40:1, para 6 a 7,5 HP	\$ 1.541.000	https://exhibirequipos.com/producto/caja-reductora-nm90-sinfin-corona/
Racor ø1/8" NPT	\$ 15.000	1	Racor rotativo galvanizado 1/8" NPT	\$ 15.000	https://ph.parker.com/co/es/fittings-and-quick-couplings
Acople macho ø1/8" NPT a 1/4"	\$ 12.000	1	Acople macho ø1/8" NPT a 1/4" con salida a manguera	\$ 12.000	https://ph.parker.com/co/es/fittings-and-quick-couplings
Manguera alta presión ø 1/4"	\$ 5.800	15	Manguera de 15 metros de alta presión	\$ 87.000	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-609831175-manguera-14-alta-presion-300-psi-x-15-metros-
Piñón moto 43-428	\$ 30.000	2	Piñón de 43 dientes con y relación de cadena 428	\$ 60.000	https://es.aliexpress.com/item/32316752872.html
Cadena moto 428	\$ 53.000	1	Cadena reforzada relación 4-28	\$ 53.000	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-473985625-cadena-428-reforzada-dorada-fz16-cb110-pulsar135-discover-st-
Llantas con rin 13"	\$ 450.000	2	Llantas para carreta de arrastre	\$ 900.000	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-599832561-rines-y-llantas-no-13-JM?searchVariation=71965654848#sear
Tornillo hexagonal M10x1	\$ 2.000	20	Tornillos hexagonales de sujeción con arandela y tuerca	\$ 40.000	https://www.mundialdetornillos.com/
Chumacera 1 1/4"	\$ 45.000	2	Chumacera para eje de 1 1/4"	\$ 90.000	https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-531454170-chumacera-1-14-JM#position=1&search_layout=stack&ty
Total				\$ 3.638.400	

Costos de piezas a fabricar

Corresponde a piezas y partes específicas cotizadas en talleres de mecánica en la ciudad de Bogotá.

Tabla 7. Costos de piezas a fabricar

Piezas por fabricar					
Artículo	Precio	Cantidad	Descripción	Total	Sugerencia
Estructura principal con tiro	\$ 1.000.000	1	Estructura metálica según plano construida con tubo cuadrado de 2" calibre 14 y lamina lisa calibre 14	\$ 1.000.000	https://indmunoz.com/
Tolva de ingreso de tubérculo	\$ 500.000	1	Tolva según plano construida en lamina calibre 14	\$ 500.000	https://indmunoz.com/
Tambor giratorio	\$ 2.000.000	1	Tambor construido según planos mediante doblado y soldado de lámina de acero inoxidable 304L	\$ 2.000.000	https://indmunoz.com/
Sistema de arrastre estructura principal	\$ 300.000	1	Adecuación de estructura para arrastre	\$ 300.000	https://indmunoz.com/
Cobertor tanque	\$ 200.000	1	Cobertor de tambor giratorio	\$ 200.000	https://indmunoz.com/
Cobertor de motor	\$ 100.000	1	cobertor de protección para motor y reductora	\$ 100.000	https://indmunoz.com/
Eje	\$ 100.000	1	Eje central en acero 1045 ϕ 1 1/4" con agujeros roscados según plano	\$ 100.000	https://indmunoz.com/
Total				\$ 4.200.000	

Finalmente, el costo total de diseño se obtiene se la suma total de los costos estimados anteriormente y se muestran en la tabla 8.

Tabla 8. Costos Totales

Costos totales	
Costos de diseño	\$ 3.160.000
Piezas por comprar	\$ 3.638.400
Piezas por fabricar	\$ 4.200.000
Mano de obra ensamble	\$ 200.000
Otros (imprevistos 5%)	\$ 559.920
Total	\$ 11.758.320

A partir del análisis de costos se estima un valor de diseño y construcción de \$ 11.758.320 el cual solo incluye un 5% de costos de imprevistos, los de más materiales estas costeados con valores exactos de acuerdo a precios de mercado.

8. Conclusiones

- ✓ Dando respuesta al objetivo general de la presenta investigación, se logró el diseño y construcción de la *lavadora de papa* ubicada en la zona rural de Bogotá como herramienta de libre acceso para productores de la región, quienes podrán estar interesados en uso y conocimiento de esta herramienta.
- ✓ La construcción de la lavadora de papa se realizó bajo los parámetros ingenieriles del diseño soportados por la metodología QFD, dando cumplimiento en la construcción completamente basada en los cálculos realizados por el autor.
- ✓ Se logro poner en operación la lavadora de papa en la finca el Vergel, zona rural de Bogotá, evidenciando la correcta funcionalidad de ésta en una de las cosechas de papa del año 2021.
- ✓ Como resultado de lo anterior, se logró eficiencias en el lavado de la papa, lo cual permitirá reducir el esfuerzo de los campesinos, mejora en tiempos de lavado respecto al proceso manual; a su vez mejora en el precio final del producto en un 24% en la comercialización de la papa.
- ✓ El proceso de diseño y construcción permito diseñar finalmente un modelo mejorado idóneo que permita replicar y garantizar una lavadora de papa funcional, optima y costeadada.

9. Bibliografía

- Albion. (mayo de 2021). Lavadora Cepilladora para papas Argentina. Obtenido de <http://www.albion.com.ar/es/equipos/lavadora/lav-cep14.html>
- Bouchereau, V. and Rowlands, H. (2000), Methods and techniques to help quality function deployment (QFD)", Benchmarking: An International Journal, Vol. 7 No. 1, pp. 8-20. <https://doi.org/10.1108/14635770010314891>
- Caracol. (Abril de 2021). Al campo. Papa, mora, piña, frijol y mazorca suben de precios. Obtenido de Caracol Radio: https://caracol.com.co/programa/2021/04/11/al_campo/1618096490_582033.html
- Calculo muestras Estadísticas: [Calculadora de Muestras \(corporacionaem.com\)](http://calculadoraem.com), [Calculadora del tamaño de muestra | SurveyMonkey](https://www.surveymonkey.com)
- Connecting buyers with Chinese Suppliers Made in China. (02 de 2021). Obtenido de [https:// es.made-in-china.com/manufacturers/potato-washing-machine.html](https://es.made-in-china.com/manufacturers/potato-washing-machine.html)
- Croper.com. (02 de 2021). Obtenido de <https://www.croper.com/96-indutornometal-inagro/23-máquinaria-agricola/3229-lavado/2041-lavadora-de-papa>
- Dane. (2020). Boletín Técnico. Bogotá D.C. <https://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/informacion-veredas.xls>
- Dane. (2021). Boletín Técnico. Bogotá D.C.
- Diaz del Carrillo (2018). Recipientes a presión. Laboratorio de Tecnologia de Materiales. Universidad Nacional. Obtenido de Recipientes a presion.pdf (unam.mx)

Finagro. (Diciembre de 2021). Ministerio de Agricultura. Obtenido de <https://www.finagro.com.co/noticias/sector-papero-se-prepara-para-aumentar-el-consumo-de-papa-en-colombia>

Hidacam. (marzo de 2022). [Hidacam Ingenieros SAS | Acero inoxidable | Bogotá - Colombia](#)

Ingemaq (2015). Máquina lavadora de papas. (06 de 2021). Obtenido de: (INGEMAQ lavadora de papa - Bing video

FAO (2008). Año internacional de la papa Obtenido de: www.fao.org/potato2008/en/world/europe.htm

Faostat (2017). Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.: obtenido de: www.fao.org/faostat/es/#data/QC

Fedepapa (2017). Implementación de tecnologías mediante la extensión rural en el sector productivo de la papa

Mejía, A. (2016). Métodos para la determinación del precio. Publicación Periódica Coleccionable.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2019). Cadena Productiva Papa - Area, Producción Y Rendimiento. Obtenido de <https://www.datos.gov.co/Agricultura-yDesarrollo-Rural/Cadena-Productiva-Papa-Area-Produccion-Y-Rendimiento/pnsj-t3kh>

Ministerio Del Medio Ambiente (2010). Resolución 610. Bogotá D.C. (Croper.com, 2021)

Ruiz, A. (Abril de 2009). Despliegue de la función de calidad (QFD). Obtenido de <https://web.cortland.edu/matresearch/QFD.pdf>

Secretaria Distrital de planeación (2011). Resolución 610. Bogotá D.C. (Croper.com, 2021)

Saraí, A. (2005). *Formulas para cálculo de muestras*. Tábasco Mexico.

Solis. (mayo de 2021). Lavadoras de papa México. Obtenido de <https://lavadoradepapasolis.com/>

Somca Máquina Agroindustrial. (02 de 2021). Obtenido de <https://www.somca.com/sitio/index.php/lavado-de-papas>

Unam. (2018). Laboratorio de Tecnología de Materiales. México: Departamento de Ingeniera.

Zibo. (mayo de 2021). Zibo Taibo Industrial co. Obtenido de Lavadora China: <http://www.cntaibo.com/>

10. Anexos

En este apartado encontraremos los planos y archivo CAD del nuevo diseño.

Links y CAD planos:

[https://drive.google.com/drive/folders/1yTylboldFfcQAmWvgxljAu4BNxpQWvk3?usp=sha](https://drive.google.com/drive/folders/1yTylboldFfcQAmWvgxljAu4BNxpQWvk3?usp=sharing)
ring

